



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Estimación de la huella de carbono
en el sistema producto aguacate
(*Persea americana*, Hass) en Zapotlán
el Grande, Jalisco y propuestas de
medidas de mitigación**

Tesis

que para obtener el grado de

**Maestro en Ciencias en Biosistemática
y Manejo de Recursos Naturales y
Agrícolas**

Presenta

Luis Enrique Lomelí Rodríguez

Zapopan, Jalisco

Enero de 2020



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

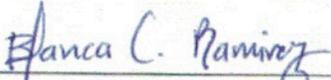
Estimación de la huella de carbono en el sistema producto aguacate
(*Persea americana*, Hass) en Zapotlán el Grande, Jalisco y propuestas de
medidas de mitigación

Por

Luis Enrique Lomelí Rodríguez

Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos
Naturales y Agrícolas

Aprobado por:


Dra. Blanca C. Ramírez Hernández
Director de Tesis e integrante del jurado

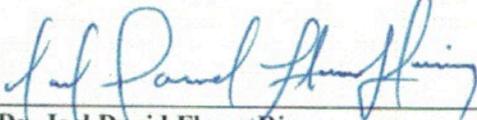
10/01/2020
Fecha


Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

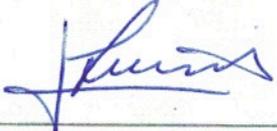
10/01/2020
Fecha


M.C. Javier E. García de Alba Verduzco
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

10-01-2020
Fecha


Dr. Joel David Flores Rivas
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

13-01-2020
Fecha


Dr. José Luis Navarrete Heredia
Sinodal e integrante del jurado

13/01/2020
Fecha

DEDICATORIA

Con dedicatoria a mi familia, a mis padres Enrique Lomelí Jiménez y María del Carmen Rodríguez P., a Pablo, Mariana, Alejandro y a Janette que siempre me han apoyado en todos mis proyectos.

A mis abuelos, tíos y primos, que siempre están presentes en todos los momentos de mi vida y a mis amigos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la asignación de la beca.

Un agradecimiento muy especial:

A mi directora la Dra. Blanca C. Ramírez Hernández.

A mis asesores, el M.C. Javier E. García de Alba Verduzco, la Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor, el Dr. Joel David Flores Rivas.

A mi sinodal el Dr. José Luis Navarrete Heredia.

A la coordinación de la Maestría en Biosistemática y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas por todas las atenciones brindadas.

A el equipo de trabajo del Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada de la Universidad de Guadalajara, en especial a Martin e Isabel.

Gracias por su respaldo, apoyo y acompañamiento a lo largo de mis estudios en la Maestría.

CONTENIDO

| | |
|--|------|
| RESUMEN | viii |
| ABSTRACT | ix |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 5 |
| 2.1. La huella de carbono..... | 5 |
| 2.2. El Cambio Climático..... | 7 |
| 2.3. La huella de carbono en el sector agrícola..... | 11 |
| 2.4. Los Alimentos y el cambio climático. | 13 |
| 2.5. Ecología histórica del sistema de producción de aguacate. | 15 |
| 3. HIPÓTESIS..... | 19 |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 20 |
| 5. OBJETIVOS | 22 |
| 5.1. Objetivo general..... | 22 |
| 5.2. Objetivos específicos | 22 |
| 6. MATERIALES Y METODOS | 23 |
| 6.1. Área de estudio | 23 |
| 6.2. Fase 1: Huella de Carbono..... | 25 |
| 6.2.1 Estimación de la huella de carbono | 26 |
| 6.2.2 Emisiones de Alcance 1 | 27 |
| 6.2.3 Emisiones de Alcance 2..... | 28 |
| 6.3. Fase 2: Acciones de mitigación de la huella de carbono que incidan en la neutralización del carbono. | 28 |
| 6.3.1 Estudios Ecofisiológicos..... | 29 |
| 6.2.2 CO ₂ atmosférico..... | 29 |
| 6.2.3 Intercambio de gases..... | 30 |
| 6.2.4 Estimación de área foliar y Carbono interno | 30 |
| 6.2.5 Datos Microclimáticos..... | 31 |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 32 |
| 7.1. Fase 1. Huella de Carbono..... | 32 |
| 7.1.1 Contabilización de emisiones | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.1.2 | Hoja de cálculo para la estimación de Huella de Carbono en la unidad de producción de aguacate. | 44 |
| 7.2. | Fase 2. Captura de CO ₂ | 45 |
| 7.2.1 | Datos microclimáticos | 46 |
| 7.2.3 | CO ₂ atmosférico..... | 48 |
| 7.2.4 | Intercambio de gases..... | 49 |
| 8. | CONCLUSIONES | 60 |
| 10. | REFERENCIAS | 62 |
| 11. | ANEXOS | 69 |
| | Encuesta Huella de carbono | 69 |

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Principales gases de efecto invernadero, las unidades son expresadas en partes por billón (ppb) según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés IPCC). | 9 |
| Tabla 2. Ubicación del sistema de producción de aguacate en estudio en la localidad de Zapotlán el Grande, Jalisco, México. | 24 |
| Tabla 3. Esquema de elementos de producción de aguacate Hass (<i>Persea americana</i>) para la determinación de la huella de carbono. | 25 |
| Tabla 4. Consumo anual de la unidad de producción | 35 |
| Tabla 5. Huella de Carbono anual en Tlaxcolomo “A” donde se consideran los rubros asociados con la producción de aguacate y empaque, unidad de producción de 19 hectáreas. | 39 |
| Tabla 6. Huella de Carbono considerando la producción de 1 Kg de aguacate en Tlaxcolomo “A”. | 40 |
| Tabla 7. Comparación de rubros que aportan mayor HdC en diferentes sistemas productivos | 42 |
| Tabla 8. Datos microclimáticos de la unidad de estudio. | 46 |
| Tabla 9. Temperaturas mensuales del año 2018 en Zapotlán El Grande, Jalisco, México. | 47 |
| Tabla 10. Precipitación mensual del año 2018 en Zapotlán El Grande, Jalisco, México. | 48 |
| Tabla 11. Valor promedio de CO ₂ atmosférico en la unidad de estudio. | 49 |
| Tabla 12. Resultados de conteo estomático en hojas de diferentes etapas fisiológicas con un microscopio óptico con aumento de 40 X. | 53 |
| Tabla 13. Valores promedio de asimilación neta de CO ₂ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ CO ₂ en la unidad de Producción Tlaxcolomo “A”. | 54 |
| Tabla 14. Valores promedio de fijación neta de CO ₂ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ CO ₂ en la unidad de producción Tlaxcolomo “A”. | 54 |
| Tabla 15. Fijación de C de diferentes especies | 55 |
| Tabla 16. Recomendaciones para la reducción de la huella de carbono en la unidad de producción de aguacate en Jalisco. | 56 |

Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema del proceso de mitigación de la huella de carbono basado en ISO (2006) y MAPAMA (2014). Elaboración propia. | 3 |
| Figura 2. Esquema de elementos de producción de aguacate Hass (<i>Persea americana</i>) para la determinación de la huella de carbono, basado en ISO (2006). Elaborado por el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada, 2018. | 6 |
| Figura 3. Incremento de la temperatura promedio mundial..... | 7 |
| Figura 4. Esquemas y metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ratificadas ante las Naciones Unidas. Elaborado por el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada, 2018..... | 10 |
| Figura 5. Tipos de alcances para la determinación de la huella de carbono. Modificado de Álvarez, Rubio & Rodríguez, 2015 | 11 |
| Figura 6. Comparación de producción de maíz entre un año fresco y un año cálido, temperaturas máximas medias de junio a octubre. Adaptado de “El clima cambiante, conocimientos para la adaptación en Jalisco”, Curiel Ballesteros, 2015..... | 14 |
| Figura 7. Mapa de ubicación del sistema de producción de aguacate Tlaxcolomo “A”, Zapotlán El Grande, Jalisco, México. Elaborado por el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada, 2018..... | 24 |
| Figura 8. Metodología basada en ISO 14064 para la huella de carbono. Elaboración propia.. | 26 |
| Figura 9. Esquema de registro de datos de intercambio de gases (fijación neta de CO ₂) in situ en árboles en diferentes puntos cardinales y disposición apical, media y basal, con el CI-340 CID Bio Science. Elaboración propia..... | 30 |
| Figura 10. Entrevistas con el productor y encargados del manejo de la unidad de estudio..... | 34 |
| Figura 11. Aplicación de fertilizantes en la unidad de estudio. | 36 |
| Figura 12. Vehículos y combustibles utilizados para el manejo de la unidad de producción de aguacate..... | 37 |
| Figura 13. Consumo de electricidad en los sistemas de riego y fertilización..... | 38 |
| Figura 14. Manejo de los residuos generados dentro del proceso de producción..... | 38 |
| Figura 15. Materiales utilizados en el empaque de la producción..... | 39 |
| Figura 16. Porcentaje de huella de carbono por rubro. Elaboración propia. | 43 |
| Figura 17. Hoja de cálculo de huella de carbono. Elaboración propia. | 45 |

| | |
|---|----|
| Figura 18. Registro de datos microclimáticos en la unidad de estudio..... | 47 |
| Figura 19. Determinación de CO ₂ atmosférico..... | 49 |
| Figura 20. Análisis de área foliar y conteo estomático para complementar los análisis de campo..... | 51 |
| Figura 21 Mediciones de área foliar de diferentes muestras..... | 52 |
| Figura 22. Determinación de intercambio de gases mediante sistema portátil al infrarrojo..... | 53 |

RESUMEN

La huella de carbono es una herramienta internacional para estimar el impacto ambiental de cualquier sistema o producto, para su estimación considera los gases de efecto invernadero (GEI): dióxido de carbono (CO_2) metano (CH_4) óxido de nitrógeno (N_2O), gases fluorados (HFCs, PFCs, SF_6). Es decir, se toman estos GEI emitidos por una actividad y se convierten en una sola medida llamada “dióxido de carbono equivalente” (CO_2eq), de esta manera es posible medir el impacto ocasionado por una actividad humana y su repercusión en el ambiente. Asimismo, la producción de aguacate toma una enorme importancia nacional en términos alimenticios, económicos, de exportación, ambientales y de generación de empleos debido a que México es el productor número uno a nivel mundial y el estado de Jalisco ocupa el segundo lugar en producción, solo después de Michoacán. Allí radica la importancia de estimar la huella de un producto agropecuario que cuenta con los recursos necesarios para realizar medidas de mitigación y ser un ejemplo a seguir. El estudio está dividido en tres fases, la fase 1 consiste en realizar la estimación de la huella de carbono mediante la ISO 14064, durante la fase 2 se realizan estudios ecofisiológicos que permitan cuantificar la fijación de CO_2 de la producción de aguacate y en la fase 3 se generan propuestas de acciones para la mitigación y neutralización de la huella de carbono del sistema productivo. Como resultado se obtuvo que la huella de carbono para la producción de 1 kg de aguacate es de 12,39 kg de CO_2eq . Una vez de restada la fijación de carbono que está realizando el árbol, la huella de carbono de la producción de 1 kg de aguacate se reduce a 5.47 kg de CO_2eq , de aquí la importancia de considerar estudios ecofisiológicos que complementen la huella de carbono de los productos agrícolas. Finalmente, se realiza la propuesta de acciones que permiten mitigar la huella de carbono y obtener la neutralidad.

ABSTRACT

The Carbon Footprint (CF) is an international tool used to estimate the environmental impact of any system or product. The estimation of a carbon footprint considers the following greenhouse gases (GHG): carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrogen oxide (N₂O), fluorinated gases (HFCs, PFCs, SF₆). The estimations of all the GHG emitted by an activity are transformed into a single measure named carbon dioxide equivalent (CO₂eq). In this way it is possible to estimate the environmental impact caused by a human activity. Additionally, the avocado production has an enormous national importance in terms of food, economy, export, environmental and employment generation, since Mexico has the first place in the worldwide ranking of producers of this fruit. The state of Jalisco has the second place in the national ranking of avocado production, only after Michoacan. Therefore, it is important to estimate the carbon footprint of this agricultural product that also has the necessary resources to perform mitigation measures and become an example to follow. This study is divided in three phases. Phase 1) performs the modification of the carbon footprint using ISO 14064, phase 2) performs ecophysiological studies that quantify the CO₂ fixation of avocado production, phase 3) generates proposals actions to mitigate and neutralize the carbon footprint of the production system. As a result, we found that the carbon footprint for the production of 1 Kg of avocado is 12.39 Kg of CO₂eq. And, after subtracting the tree carbon fixation rate, the CF is reduced to 5.47 Kg of CO₂eq. These results show the relevance of considering ecophysiological studies complementing carbon footprint estimations of agricultural products. Proposals of actions to mitigate carbon footprint and obtain neutrality are also made.

1. INTRODUCCIÓN

La huella de carbono (HC) es una herramienta internacional que mide el total de gases de efecto invernadero (en adelante GEI) generados dentro de un proceso de producción, y que se traslada y expresa en términos de CO₂ equivalente. Así, la huella de carbono permite detectar posibilidades de mejora de la eficiencia energética de los procesos productivos agroalimentarios, proporcionando la oportunidad de identificar y reducir estas emisiones, y a su vez reducir también el impacto al clima por la producción de alimentos (ONU, 2007).

Cuando se conoce la huella de carbono del proceso de producción de un producto (riego, fertilizantes, empaques, consumo energético, manejo, etc.) se puede plasmar como parte de la información del producto dándole un valor agregado ya que, por ejemplo, puede acceder a los llamados “mercados sustentables o verdes” (Olmos, 2012). El etiquetado o distinción de la huella de carbono para este tipo de mercado es considerado como un indicador que aporta información acerca de cómo los productores están interesados en reducir las emisiones de gases invernadero en la producción y comercialización de productos agropecuarios (Palacios, 2012).

Actualmente existe un consenso en los mercados internacionales que, al conocer la huella de carbono de un producto, permite obtener los siguientes beneficios (Olmos, 2012):

- Conferir valor agregado al producto permitiéndole incursionar en mercados verdes o sustentables internacionales. Por ejemplo, algunas empresas británicas y francesas de distribución (Tesco, Walmart, Casino etc.) empiezan a exigirle a sus proveedores que calculen la huella de carbono de sus productos.
- Es una herramienta de comunicación y gestión de la sustentabilidad ambiental: empresas alimentarias como Bimbo, Coca-cola, Pepsico, etc. utilizan la huella de carbono como un indicador dentro de sus políticas de sustentabilidad.
- Economizar al reducir los costos de operación. Por ejemplo, la evaluación de la huella de carbono en un producto permite saber si el producto está adecuadamente producido; permite detectar posibilidades de mejora de la eficiencia energética de los procesos productivos o del diseño de los envases que suponen ahorros económicos y

la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero; y ser más eficientes en la forma de producción.

- Reduce el consumo energético mediante la optimización del transporte y la disminución en consumo de insumos y recursos; y mejora la competitividad de la empresa al tiempo que disminuye el impacto ambiental y sus emisiones GEI.
- Es una herramienta que favorece la innovación territorial sobre el sistema de producción de alimentos de forma más amigable con el ambiente.

Por otro lado, la medición de la huella de carbono permite al productor de alimentos, en este caso, establecer acciones específicas de “mitigación” (Figura 1), estas acciones son aquellas que impactan en la disminución de consumo o generación de GEI o bien en la fijación de carbono de la atmósfera. Algunas de estas acciones son:

- Planificación y uso eficiente de fertilizantes.
- Planificación y uso eficiente de sistema de riego.
- Implementación de energías renovables en su unidad de producción.
- Reforestación planificada para tener una zona de amortiguamiento que permita la fijación de carbono y reduzca así la huella de carbono.
- Reciclado de residuos producidos en el sistema de producción para disminución de GEI.
- Optimización del material del embalaje para disminuir su impacto ambiental del producto, lo cual permite reducir y neutralizar la huella de carbono en el sistema de producción, entre otros (Umaña, 2012).



Figura 1. Esquema del proceso de mitigación de la huella de carbono basado en ISO (2006) y MAPAMA (2014). Elaboración propia.

México produce más del 30% del aguacate en el mundo, siendo el productor más grande y con mayor reconocimiento a nivel internacional. Nuestro país cuenta con una superficie sembrada de 187,327.08 hectáreas generando ingresos por \$22,548,785.13 pesos anuales, exportando un total de 365,639 toneladas de aguacate al año. Por otra parte, el estado de Jalisco cuenta con una superficie sembrada de 17,040.85 hectáreas de aguacate generando ingresos por \$1,812,397.67 pesos anuales, posicionándose en el segundo lugar a nivel nacional (OEIDRUS, 2015). Esto le permite a este sistema producto tener recursos necesarios para implementar mejoras a su proceso. Cabe señalar que este sistema productivo es uno de los más rentables, con mayor crecimiento y generador de fuentes de empleos en Jalisco. Este importante y continuo crecimiento económico-social del sistema productivo del aguacate variedad Hass, lo hace el sistema de producción agrícola idóneo para continuar su innovación y posicionamiento en el ramo ambiental y ser el primer sistema-producto en contar con un estudio de huella de carbono en México (García de Alba, 2018) lo cual incidirá también en el reconocimiento internacional sobre la forma de producción de alimentos (aguacate)

cumpliendo con los compromisos ambientales internacionales que México firmó y ratificó en la Cumbre del Clima 2015 en París promovida por las Naciones Unidas (COP 21, 2015).

Asimismo, la huella de carbono en el aguacate incidirá en generar y promover estrategias sustentables en el sistema de producción, para que más tarde sean incorporadas por los productores con el fin de reducir la huella de carbono del sistema de producción de aguacate Hass en Jalisco y ser un ejemplo internacional.

Dicho lo anterior el sistema de producción del aguacate tiene un enorme potencial para generar un modelo replicable en economía verde/sustentable agropecuaria nacional, debido a su importancia en términos alimentarios, económicos, fuente de empleos, y como producto de exportación y posicionamiento de la calidad-cuidado ambiental de los productos agroalimentarios de México.

2. ANTECEDENTES

2.1. La huella de carbono

El término huella de carbono fue desarrollado a principios de los años noventa por William Rees para ser utilizado dentro de la estimación de la huella ecológica (Rees, 1996).

La huella de carbono es una herramienta muy importante para la protección del medio ambiente, dado que representa las emisiones de GEI (Wiedmann & Minx 2007; Galli et al. 2012). La huella de carbono se define como la cantidad de GEI expresada en términos de CO₂-e, emitidos a la atmósfera por un individuo, organización, proceso, producto o evento desde dentro de un límite especificado (Pandey et al. 2011).

Para su estimación se consideran los siguientes GEI: dióxido de carbono (CO₂) metano (CH₄) óxido de nitrógeno (N₂O), gases fluorados (HFCs, PFCs, SF₆), es decir que se toman estos GEI emitidos por una actividad y se convierten en una sola medida llamada “dióxido de carbono equivalente” (CO₂eq).

La estimación de la huella de carbono del producto implica medir las fuentes más importantes o sumideros de las emisiones de GEI del sistema productivo específico, (Figura 2). Es por ello que, para este estudio pionero en México, se debe de contemplar la obtención de datos de los principales elementos que conforma el sistema de producción agrícola del aguacate, destacando: fotosíntesis del árbol de aguacate, uso de fertilizantes, consumo de combustibles fósiles, embalaje, refrigeración, consumo de energía eléctrica y fuentes que lo proveen, entre otros (Hernan & Campo, 2004).



Figura 2. Esquema de elementos de producción de aguacate Hass (*Persea americana*) para la determinación de la huella de carbono, basado en ISO (2006). Elaborado por el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada, 2018.

La mayoría de las organizaciones y casi todos los intentos personales de huella de carbono han sido observados para dirigirse hacia la reducción de las emisiones o la compensación de las huellas mediante la compra de créditos de carbono u otras medidas de control. Además de las cuestiones políticas, la huella de carbono tiene una enorme importancia para los negocios (Kleiner 2007). Sin embargo casi todos los estudios de huella de carbono se centran en las emisiones; la cantidad de eliminación de GEI y el secuestro de carbono parecen descuidados (Peters 2010). También se observa que la literatura científica sobre el tema es escasa y la mayoría de los estudios han sido realizados por organizaciones privadas y empresas, principalmente debido a su sentido de negocio más que a su responsabilidad medioambiental (Pandey et al. 2011).

En términos de huella de carbono el Estándar Corporativo del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (WBCSD and WRI 2005) clasifica las fuentes de emisión en tres alcances:

- Alcance 1, son las emisiones directas que provienen de fuentes que son propiedad o están bajo el control de la organización.

- Alcance 2, representa las emisiones indirectas de la generación como electricidad, calor o vapor consumido por la organización;
- Alcance 3, son todas las demás emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la empresa, pero que ocurren a partir de fuentes que no son propiedad o están bajo el control de la organización. (Wiedmann & Minx 2007; Matthews et al. 2008).

2.2. El Cambio Climático.

El cambio climático asociado a la actividad humana (OMM, 1979) ha sido provocado por la liberación de ciertos tipos de gases en la atmósfera etiquetados como gases de efecto invernadero (GEI), llamados así debido a que acumulan y mantienen el calor en la atmósfera por largos periodos de tiempo (Tabla 1).

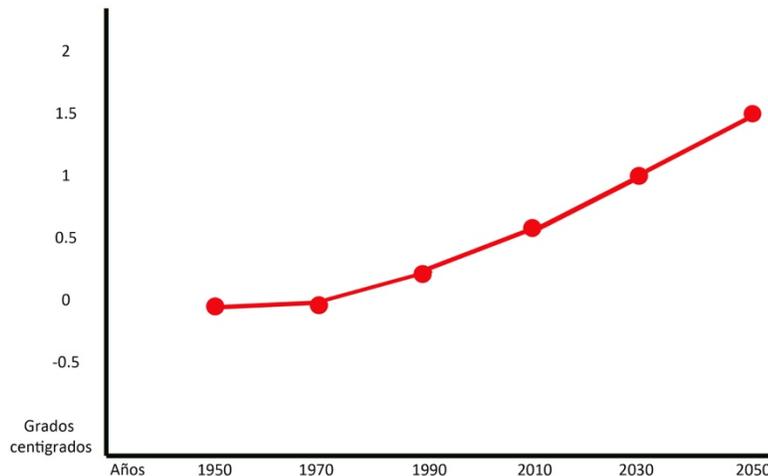


Figura 3. Incremento de la temperatura promedio mundial.

Cabe mencionar que el GEI dominante por la gran cantidad liberada es el dióxido de carbono (CO_2) (Figura 3), el cual es emitido a la atmósfera cada vez que quemamos combustibles fósiles en hogares, transporte, fábricas o centrales eléctricas; deforestamos o producimos alimentos; entre otros. Consecuentemente, el dióxido de carbono es tomado como la molécula de equivalencia para comparar con los distintos GEI. También el metano (CH_4) es un GEI emitido principalmente por la ganadería y agricultura y los rellenos sanitarios. Este gas es 25 veces más potente para absorber calor que el CO_2 . De la misma forma, el óxido nitroso (N_2O) es aproximadamente 230 veces más potente que el dióxido de carbono y se libera principalmente de los procesos industriales y la agricultura. Por último, los gases refrigerantes, que son típicamente varios miles de veces más potentes que el CO_2 , aunque emitidos en cantidades más pequeñas.

Tabla 1. Principales gases de efecto invernadero, las unidades son expresadas en partes por billón (ppb) según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés IPCC).

| Gases de efecto invernadero (GEI) | Fuentes principales de emisiones antropogénicas | Concentración preindustrial en la atmósfera (ppb) | Concentración actual en la atmósfera (ppb) | Unidades de calor equivalentes a la unidad de CO ₂ | Tiempo de residencia en la atmósfera (años) |
|---|--|---|--|---|---|
| CO₂ Dióxido de carbono | Uso de combustibles fósiles y leña, deforestación, generación de alimentos | 275,000 | 400,000 | 1 | 100-200 |
| CH₄ Metano | Cultivos, ganado, tiraderos de basura, uso de combustibles fósiles | 700 | 800 | 25 | 10 |
| NO_x Óxidos nitrosos | Fertilizantes químicos, deforestación, uso de leña | 285 | 310 | 230 | 150-180 |
| CFC_s Clorofluorocarbonos | Aerosoles, refrigerantes, aislantes | 0 | 3 | 15,000 | 65-130 |
| SF_x Hexafluoruro de azufre | Aislante eléctrico y estabilizante, transformadores, extintores de incendios | 0 | 3 | 23,900 | 3,200 |
| HFC_s Hidrofluorocarbonos | Refrigeración industria petroquímica, aire acondicionada, disolventes industriales, minería aerosoles. | 0 | 2 | 11,700 | 270 |
| PFC Perfluorocarbono | Sistemas de refrigeración, industria calorífica | 0 | 0.3 | 7,000 | 2,600 |

Adaptado de Cuatecontzi, 2007.

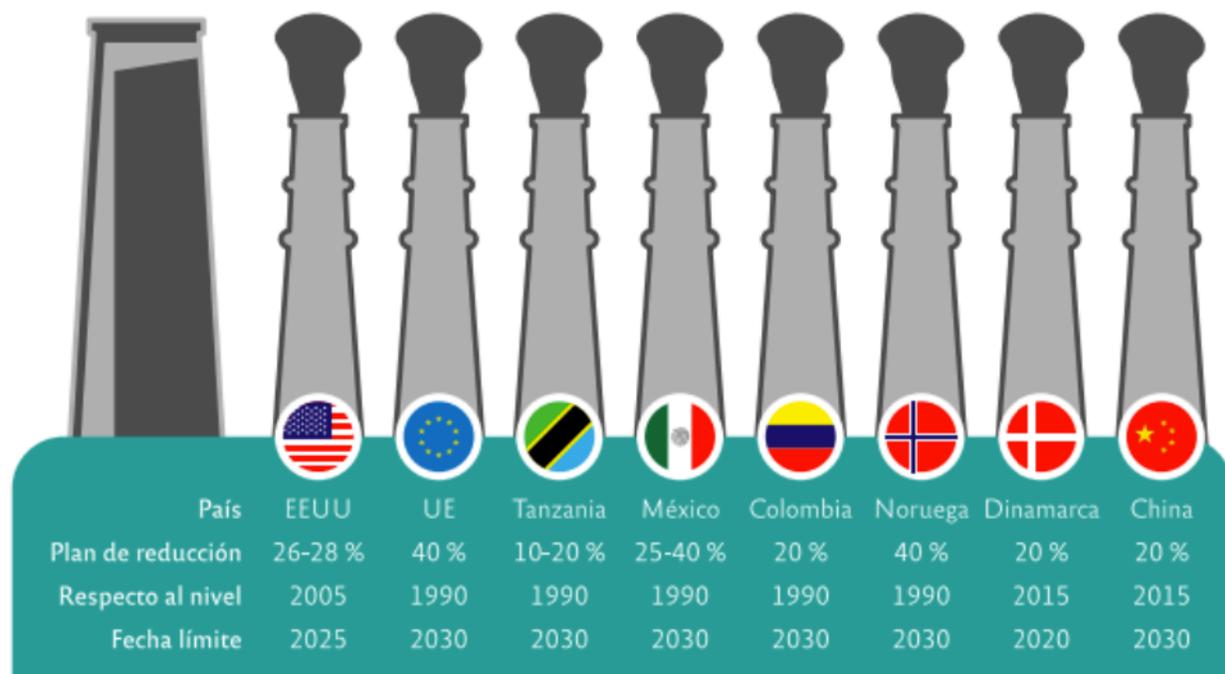


Figura 4. Esquemas y metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ratificadas ante las Naciones Unidas. Elaborado por el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada, 2018.

Debido a que es necesario cuantificar de una forma simplificada esta gran diversidad de GEI, la convención sobre cambio climático de las Naciones Unidas (ONU, 2007) (Figura 4) expresó que la medición de GEI debe ser contenida en el cálculo de la “huella de carbono” en términos de equivalente de dióxido de carbono o CO₂eq. Esto quiere decir que se tomarán todos los GEI emitidos por una actividad y se convertirán a una sola medida llamada “dióxido de carbono equivalente” (CO₂eq).

El término huella de carbono, es el indicador utilizado de forma global que resume de forma integral del impacto total sobre el clima provocado por una actividad, un bien, un servicio, un estilo de vida, un alimento, una dieta, una persona, una empresa, o incluso un país (Wackernagel & Rees, 1966).

Mediante la estimación de la huella de carbono es posible medir el impacto desarrollado por una actividad y su repercusión en el clima. Este es el primer paso necesario para poder trazar

un plan de reducción medible cuantitativamente. Para la estimación de este indicador se considera el uso de la norma ISO 14064.

La huella de carbono puede ser abordada dependiendo de la forma de producción y su alcance específico (Figura 5). Para este proyecto se evaluarán los alcances obligatorios (Alcances 1 y 2) establecidos para el cálculo de huella de carbono por la ISO 14064 (ISO, 2006). El Alcance 3 no será considerado en este estudio.

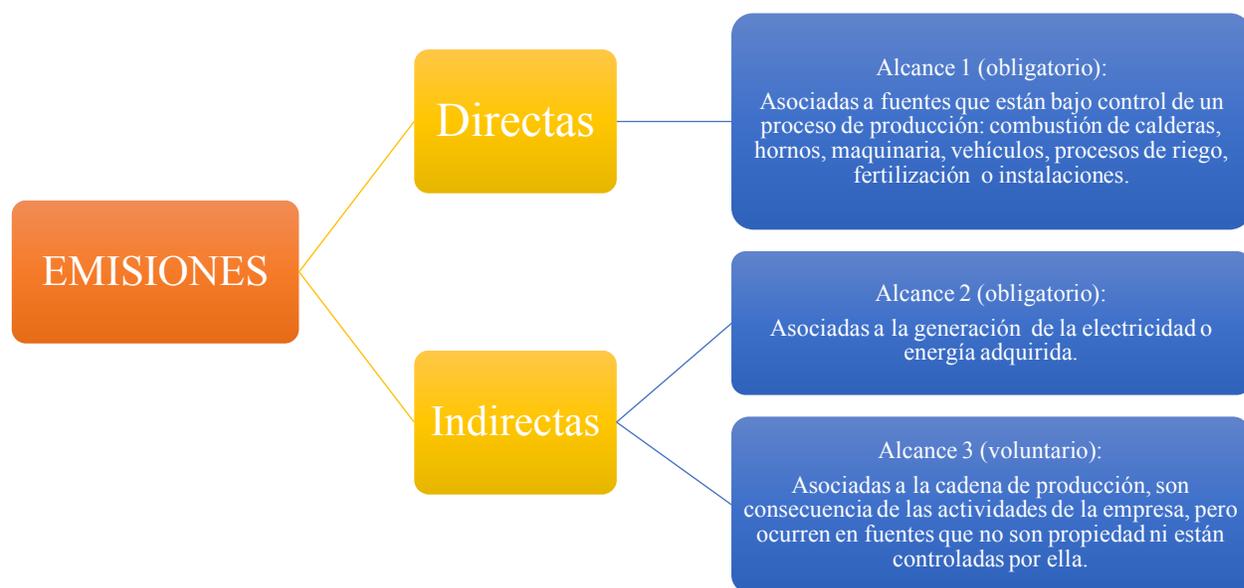


Figura 5. Tipos de alcances para la determinación de la huella de carbono. Modificado de Álvarez, Rubio & Rodríguez, 2015

2.3. La huella de carbono en el sector agrícola

Existen diversas investigaciones sobre la importancia de la huella de carbono y la implementación de acciones para su mitigación en diversos productos alimenticios de importancia internacional, por ejemplo el realizado por Olmos (2012) en la producción vitícola de la República de Chile. Debido a que es un requerimiento para competir a nivel internacional (promovido por Francia para poder ser importado a ese país y posteriormente a la unión europea), se realizó la medición de la huella de carbono de este producto dando como resultado que más del 68% de las exportaciones en este sector cuentan ya con su huella, así como estrategias de mitigación, siendo un factor preponderante para su comercialización. Este claro ejemplo nos alerta sobre el riesgo de que un país extranjero pueda incidir sobre los

mercados internacionales y las exportaciones de productos agroalimentarios latinoamericanos, por la exigencia de indicadores ambientales en la forma de producción del producto; y de cómo ahora es más evidente la necesidad de contar con estudios como la huella de carbono de nuestros productos, para respaldar su producción sustentable.

En otro estudio realizado en la República de Nicaragua, al medir la huella de carbono demostraron la sinergia que existe en intercalar cultivos en una plantación de café (*Coffea arabica*) para neutralizar la huella de carbono comparada con la producción tradicional (monocultivo) (Segura & Andrade, 2012). De esta forma se vieron beneficiados, no solo en la forma de producción más sustentable, sino que pudieron acceder a mercados internacionales proporcionando ventajas al sector agropecuario de ese país.

De igual manera, en la República de Costa Rica se encontraron huellas de carbono bajas en sistemas agroforestales de producción de café y cacao en donde se ha demostrado que, los sistemas de producción que involucran especies leñosas perennes tal como los maderables, tienen más posibilidades de ser amigables con el medio ambiente en términos de fijación de carbono (Segura & Andrade, 2012). Sin embargo, también fue posible detectar sistemas agrícolas tales como plátano, maíz y caña de azúcar que presentan una huella de carbono alta debido principalmente al uso excesivo de fertilizantes químicos (Umaña, 2012), lo cual se tradujo en hacer más eficiente el sistema de fertilización y repercutió en economizar insumos haciendo, por ende, más eficiente su producción y bajos los costos.

Otro ejemplo es la República de Colombia donde desarrollaron estudios sobre la huella de carbono en el proceso de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*); se identificaron las áreas que generan más gases de efecto invernadero (GEI) así como las áreas de optimización de procesos para su disminución (Hernan, Milena, & J., 2014). Por ejemplo, la instalación de sistemas de paneles fotovoltaicos para el uso de energía sustentable en el riego, así como eficiencia del riego y, por ende, mejor uso del agua. Asimismo, en la República de Colombia estimaron la huella de carbono del cultivo de arroz (*Oryza sativa*). Gracias a la medición de huella de carbono se identificó que los fertilizantes nitrogenados contribuían con un 65 % del total de sus GEI en el proceso de producción, como resultado lograron valiosos avances al encontrar acciones para un balance óptimo entre mayores

rendimientos, y la reducción de GEI al modificar la aplicación de fertilizantes (Hernan & Campo, 2004).

Investigadores de Granada, España concluyeron que el uso de fertilizantes de forma inmoderada es el factor que genera mayor cantidad de huella de carbono, proponiendo alternativas para mejorar el proceso productos hortícolas de hoja (lechuga) (Suárez-Rey, 2014). Investigadores de Andalucía, España midieron la huella de carbono de producción del tomate cherry (*Solanum lycopersicum*, var. ceraciforme) llegando a la conclusión de que la producción con mayor huella es la de invernadero comparada con producción al aire libre (Romero-Gómez M. L.-R., 2015). En Córdoba, Argentina se estimó la huella de carbono de la producción de maní (*Arachis hipogaea*) dividieron su investigación en dos etapas de producción, la Etapa 1: producción primaria; Etapa 2: fase industrial, concluyendo que la etapa uno generaba mayor cantidad de emisiones por el uso de combustibles y fertilizantes (Bongiovanni, Tuninetti, & Garrido, 2016); de igual manera, en Buenos Aires, Argentina estimaron la huella de carbono del maíz y el sorgo siendo esta neutra y brindándoles a los productores la posibilidad de negociar en mejores condiciones e incluirse a nuevos mercados (Blanco, 2017).

Como hemos visto, la necesidad de la medición de la huella de carbono es una tendencia cada vez mayor para sumarse a un sistema sustentable de producción agroalimentario y también un compromiso de muchos países que han firmado y ratificado ante organismos internacionales (ONU) y que permite que estos compromisos se extiendan al sistema de producción de alimentos. En este sentido, existe una preocupación internacional creciente por parte de instituciones académicas y gubernamentales para realizar proyectos que incidan en la determinación de huella de carbono (CEPAL, 2010) (Guerra, 2007).

2.4. Los Alimentos y el cambio climático.

La producción de alimentos resulta afectada por el cambio climático y al mismo tiempo tiene un efecto sobre ésta (FAO, 2017). En el caso de la agricultura, el incremento en las temperaturas ocasiona una reducción del rendimiento al acortar el ciclo vegetativo pues los periodos de producción de biomasa o la formación de órganos reproductivos se ven

reducidos, lo que representa pérdidas en los rendimientos. La variabilidad sucesiva en el rendimiento de las cosechas anuales en muchas regiones hará muy difícil tanto para los agricultores como para los consumidores mantener su alimentación y la de sus familias a lo largo del año con los consiguientes riesgos de desnutrición y enfermedad.

El progresivo aumento de las temperaturas también acelera la velocidad del ciclo de vida de insectos que pueden afectar los cultivos por lo que es de esperarse que se eleven los esfuerzos de combate de plagas (Curiel Ballesteros, 2015) y por tanto las emisiones de GEI, exacerbando el problema.

Un ejemplo claro sobre la relación que existe entre el cambio climático y la producción de alimentos es lo señalado por Curiel Ballesteros en el estudio realizado en el estado de Jalisco. En dicho estudio compara la producción de maíz en dos años distintos un año fresco en el 2004 y un año cálido en el 2009, en el que concluye que el año con incremento de calor disminuyó la precipitación y la producción de maíz (Figura 6).

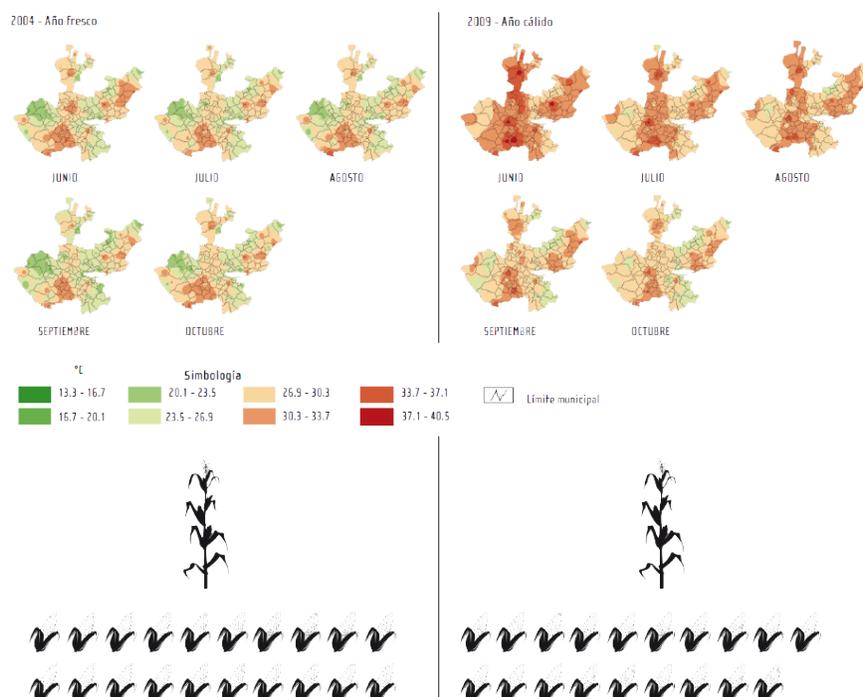


Figura 6. Comparación de producción de maíz entre un año fresco y un año cálido, temperaturas máximas medias de junio a octubre. Adaptado de “El clima cambiante, conocimientos para la adaptación en Jalisco”, Curiel Ballesteros, 2015.

Los efectos del cambio climático en las cosechas y la producción alimentaria son muy evidentes en varias regiones del mundo. Los recientes periodos de aumento de los precios en los alimentos indican que los mercados actuales en las zonas clave de producción son afectados por los extremos climáticos (IPCC, 2001).

Es muy importante pues, tener cuenta estos resultados y cambiar las prácticas de un modelo de agricultura química intensiva altamente emisora de GEI (FAO, 2017) y centrada en la maximización de la rentabilidad (Shiva, 2018) hacia una agricultura ecológica que pueda aumentar los rendimientos de un cultivo que verdaderamente aumente la resiliencia (capacidad de adaptación), disminuya las emisiones de GEI y se preocupe por la inocuidad y el valor nutricional del producto y, en consecuencia, ayude a mitigar los efectos del cambio climático.

2.5. Ecología histórica del sistema de producción de aguacate.

La relación entre los seres humanos y los aguacates es histórica. Desde tiempos precolombinos el aguacate era apreciado como un alimento valioso. Restos arqueológicos proveen evidencia de que éste fruto eran consumido por los seres humanos desde alrededor de 8,000 a.C. (Smith, 2005) y que los granjeros neolíticos practicaban la explotación mixta de plantas, mostrando una predominancia por frutas (Betz V. M., 1999). Por esta razón parece lógico que el aprovechamiento inicial de la baya pudo haber comenzado en éste periodo (Galindo-Tovar & Arzate-Fernández, 2008).

El aguacate es el fruto con el contenido de aceites más alto de todas las frutas carnosas (con la posible excepción de las aceitunas) y ha sido considerado por algunos como la más nutritiva de todas las frutas (Van Wyk, 2005). Al igual que muchos otros árboles a lo largo de la historia y debido a su interacción estrecha con el ser humano, el aguacate ha jugado un papel especial en el desarrollo de ciertas culturas (Galindo-Tovar & Arzate-Fernández, 2008).

Los métodos de producción alimentaria empleados por los pueblos mesoamericanos para cultivar los principales ingredientes de su dieta, eran sistemas perfeccionados que aprovechaban los recursos naturales sin afectar su disponibilidad; comúnmente mediante el sistema de policultivo (Betz V. M., 1999) del que se obtenían los ingredientes principales para proveer diariamente de alimentos con alto valor nutricional a una población creciente (Bost, Smith, & Crane, 2013). Aunque existe poca información en la literatura respecto al cultivo de árboles en el periodo precolombino, se tiene evidencia arqueológica de que el aguacate fue cultivado por los mayas a partir del año 3,400 a.C. dentro de jardines caseros y huertas, no solo como fuente de alimento y propósitos medicinales sino también como parte de sus cultos religiosos (Herrera-Castro, Pompa, Cruz-Kuri, & Flores, 1993), sus expresiones artísticas y sus sistemas de comercio y tributo (VanDerwarker, 2006).

Es posible identificar cuatro etapas en el proceso de domesticación del aguacate, la primera ocurrió con la explotación de la vegetación forestal original cuando el aguacate se encontraba naturalmente en los bosques cerca de los primeros asentamientos humanos. La segunda fase comenzó con el cambio del clima que generó un descenso en la disponibilidad de frutos salvajes y el cultivo se volvió necesario para mantener el producto al alcance de los consumidores. La tercera fase tuvo inicio cuando los árboles fueron transportados de su hábitat natural a otros más productivos y cultivados intencionalmente en jardines y huertos; durante esta etapa inició la selección artificial de los ejemplares con características deseables y por tanto se considera una transición importante a la cuarta etapa que, justamente inicia con el cultivo de las variedades modernas genéticamente modificadas (Galindo-Tovar & Arzate-Fernández, 2008).

Durante los últimos 150 años los niveles de producción y consumo del aguacate se han incrementado dramáticamente. Un factor que ha contribuido a este incremento es la constante expansión del cultivo en nuevos mercados en partes del mundo en donde el aguacate era desconocido o poco disponible (como Japón y China) (Bost, Smith, & Crane, 2013) mediante el fenómeno denominado “glocalización” (Robertson, 1997), dando pie a la fusión de éste fruto como ingrediente en contextos culinarios radicalmente distintos a su

origen y su aprovechamiento en industrias tan variadas como la cosmética y la producción de biopolímeros.

Actualmente se estima una producción mundial de 6.1 millones de toneladas anuales y se espera que el mercado alcance los 7,6 millones de toneladas en el año 2019. Con una producción anual de 2 millones de toneladas, México se sitúa en el primer lugar de producción aguacatera constituyendo el 33% de la producción mundial total. (IndexBox, 2018). Este incremento en el cultivo nos obliga a centrar nuestra atención en la huella de carbono y el impacto ambiental que ocasiona la explotación excesiva del recurso (Romero-Gómez & Suárez-Rey, 2014).

El sistema moderno de producción agrícola ha sufrido los efectos de la globalización y la subordinación a la economía de escala, dando como resultado la intensificación productiva en grandes superficies de tierra que concentran la producción de desechos orgánicos (como el estiércol en los sistemas ganaderos) generando gases de efecto invernadero que contribuyen directamente al calentamiento global. En el caso de la producción agrícola, grandes superficies de diversos ecosistemas son deforestados para convertirlos en tierra cultivable que pronto son erosionadas y abandonadas comprometiendo además la calidad del aire y el agua por los pesticidas usados en estos cultivos de escala industrial (Tilman, Cassman, Matson, Naylor, & Polasky, 2002). Por lo tanto, cuando nos referimos a la producción de aguacate a gran escala, debemos considerar la huella de carbono del sistema y hacer hincapié en la cadena de comercialización, dado que los estándares que ha construido la mercadotecnia convierten a la cadena de suministro en otro gran productor de contaminación pues bajo este esquema el desperdicio puede llegar hasta cerca del 31% de los alimentos producidos en el mundo que suponen desechos orgánicos emisores de GEI que se suman a las emisiones generadas por el proceso productivo (FAO, 2011).

Uno de los rasgos que caracterizan a las sociedades posindustriales es la preocupación creciente por la calidad del ambiente pues, en la medida en que superamos nuestro potencial tecnológico ponemos en riesgo nuestro bienestar y el del medio ambiente (Bormann & Kellert, 1991). Numerosas pruebas confirman la existencia de un déficit ambiental que

denota consecuencias negativas a largo plazo resultado de los beneficios a corto plazo (Bormann & Kellert, 1991). Mediante el concepto de déficit ambiental englobamos la idea de que la situación del medio ambiente es una cuestión social que refleja las decisiones diarias que las personas adoptan sobre cómo vivir. También se hace evidente que los daños que estas decisiones generan surgen frecuentemente como efecto secundario y no son intencionados. Por último, es fundamental denotar que una gran parte de estos daños son reversibles.

3. HIPÓTESIS

La estimación de la huella de carbono permitirá proponer medidas específicas para la neutralidad del carbono en un sistema de producción de aguacate Hass en Jalisco.

4. JUSTIFICACIÓN

A nivel nacional, la problemática se basa en la falta de conocimiento sobre la producción de emisiones de GEI generadas durante la producción de alimentos; en lo particular los datos que se puedan manejar son producto de las mediciones en otros sistemas que no tienen relación con una realidad nacional, al no conocer el proceso de producción en las condiciones locales. Siendo el sistema de producción de aguacate (*Persea americana*, Hass), un hito en la agricultura mexicana que además tiene mercados internacionales actuales y con una perspectiva creciente es importante considerar la importancia de realizar estas mediciones bajo un esquema de producción local, pero con proyección internacional.

Además de implementar por vez primera un sistema de medición de huella de carbono que permita establecer medidas eficientes de reducción y mitigación en los sistemas agroalimentarios. Con este proyecto se pueden establecer esquemas del sistema de producción de aguacate para cumplir con la normatividad vigente de La Ley General de Cambio Climático de México, que desde el 2012 pugna por los esfuerzos a realizar a fin de reducir los GEI y cumplir los compromisos adquiridos por México ante la comunidad internacional. Lo anterior, se ve reflejado en la implementación de acciones de mitigación que tengan como resultado la reducción de emisiones de GEI al año 2030 (SEMARNAT, 2015) aunado al compromiso asumido por México (Figura 4) en el convenio ratificado sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Organización de las Naciones Unidas en el inciso 12 y 13 los cuales señalan producción y consumo responsable y acciones para el mejoramiento del clima (ONU).

Por otro lado, los mercados actuales son cada vez más exigentes respecto a la sustentabilidad de los productos que se consume. Conscientes de ello, los gobiernos e instituciones académicas realizan esfuerzos para demostrar científicamente que sus productos tienen un reducido impacto al clima y la salud del ambiente. Existe un creciente número de países, en especial los que tienen vocación exportadora, que diferencian sus productos en el mercado nacional e internacional con una huella de carbono de producción menor que la de sus competidores. Por ejemplo, en una encuesta dirigida por la Unión Europea (GALLUP, 2009), realizada a más de 26,500 ciudadanos, el 80% de ellos consideró el impacto ambiental de los productos como el tercer criterio a nivel de importancia en sus

decisiones de compra, (tras la calidad y el precio) la huella de carbono fue señalada como uno de los indicadores ambientales más reconocidos.

Como se mencionó anteriormente, hasta a la fecha no existen datos en México de medición de huella de carbono en el sistema producción de aguacate. Este proyecto será el primer trabajo de medición de huella de carbono, y que a su vez considere como factor a incluir en esta herramienta un seguimiento *in situ* de la fijación por procesos fisiológicos de carbono del aguacate por la especie en un ambiente tropicalizado.

Finalmente, este estudio evalúa la huella de carbono no solo como un mero elemento de cálculo, sino como una base objetiva que conduzca a la mejora y eficiencia en el uso de los recursos naturales que inciden en el cuidado del territorio, su clima y por ende la salud humana; así como en el compromiso compartido de productor-gobierno-consumidor de reducción en las emisiones de GEI y eficiencia agroalimentaria. En ello reside sin duda su gran contribución a la lucha contra el cambio climático.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Estimar la huella de carbono de una unidad de producción de aguacate (*Persea americana*, Hass) en Zapotlán el Grande, Jalisco.

5.2. Objetivos específicos

1. Estimar la huella de carbono de una unidad de producción de aguacate (*Persea americana*, Hass) en Zapotlán el Grande, Jalisco mediante la metodología ISO 14064.
2. Identificar y cuantificar las principales fuentes o sumideros de emisiones de GEI de una unidad de producción de aguacate Hass en Zapotlán el Grande, Jalisco.
3. Generar las propuestas que incidan en la mitigación de la huella de carbono de un sistema de producción de aguacate Hass en Zapotlán el Grande, Jalisco.

6. MATERIALES Y METODOS

6.1. Área de estudio

Este estudio se realizó en la unidad de producción Tlaxcolomo “A” de aguacate Hass con una superficie de 19 hectáreas y árboles de 12 años de edad; en Zapotlán el Grande, debido a que es el municipio que cuenta con la mayor producción de aguacate en el estado de Jalisco y también un espacio estratégico para su promoción y replicación con otros lugares.

El municipio de Zapotlán el Grande, políticamente, se localiza en la región sur (06); geográficamente, se ubica entre las coordenadas 19°34'12'' y 19°46'00'' de latitud norte y 103°23'00'' a los 103°38'00'' de longitud oeste a una altura promedio de 1,580 metros sobre el nivel del mar.

El clima de este municipio es semi-seco con invierno y primavera secos, semicálidos con estación invernal definida. La temperatura media anual es de 20°C, con máximo de 27°C y mínima de 12.1°C. La precipitación media anual es de 700 milímetros cúbicos, con régimen de lluvias del 01 de junio al 30 de diciembre.

Con el apoyo de personal de la SEDER Jalisco (Secretaría de Desarrollo Rural, hoy SADER) y el APEAJAL (Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco, A.C.) se identificó un sistema de producción de aguacate (Tabla 2, Figura 7), en donde se realizaron las mediciones de fijación de CO₂ y se llevaron a cabo las entrevistas dirigidas a los productores, al personal de apoyo (i.e. ingenieros, trabajadores de campo), así como a un par de empacadoras para identificar los insumos empleados para la estimación de la huella de carbono en el sistema de producción de aguacate.

Tabla 2. Ubicación del sistema de producción de aguacate en estudio en la localidad de Zapotlán el Grande, Jalisco, México.

| Sistema de Producción | Ubicación | |
|--|---------------------------|------------------|
| | Latitud | Altitud m.s.n.m. |
| Tlaxcolomo A (unidad certificada Rainforest Alliance) | 662882.43 E, 2175915.06 N | 1835 |

Elaboración propia.



Figura 7. Mapa de ubicación del sistema de producción de aguacate Tlaxcolomo “A”, Zapotlán El Grande, Jalisco, México. Elaborado por el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada, 2018.

6.2. Fase 1: Huella de Carbono

Esta etapa consistió en estimar la huella de carbono del proceso de producción de aguacate Hass. Para tal efecto se consideraron los diferentes subprocesos involucrados en la producción (Tabla 3) que son:

1. Fertilización
2. Consumo de energía eléctrica
3. Residuos generados
4. Uso de combustibles fósiles durante el proceso de producción
5. Embalaje del producto

Tabla 3. Esquema de elementos de producción de aguacate Hass (Persea americana) para la determinación de la huella de carbono.

| Procesos | Elementos de producción | Actividad | Unidad de medición |
|--|----------------------------------|---|---------------------------|
| Consumo de combustibles fósiles | - Gasolina -Diésel -Gas LP | Manejo de la huerta, tractores, camionetas, motocicletas | Litros por mes/ año |
| Consumo de energía eléctrica | -CFE -Foto celdas | Extracción de agua de los pozos, riego | KWH por mes/ año |
| Fertilización | -Fertilizantes | Productos químicos utilizados para la nutrición de la planta | Kg por mes/ año |
| Manejo de residuos | -Plásticos -Orgánicos | Manejo y disposición de los residuos generados dentro del proceso | Kg de C |
| Empaque | -Plástico -Cartón | Material utilizado para el transporte del producto | Gramos por empaque |

Adaptado de ISO (2006) y MAPAMA (2014).

6.2.1 Estimación de la huella de carbono

La determinación de la huella de carbono se realizó acorde a la norma internacional ISO 14064 (ISO, 2006) la cual contempla la siguiente metodología (Figura 8):

**- Definir los alcances del proyecto
(Emisiones directas e indirectas).**

**Uso de fertilizantes, consumo de combustibles
fósiles, energía eléctrica, riego, empaque, entre otros.**

**Alcance 1
Alcance 2**



- Estimar la cantidad de gases de efecto invernadero generados en el proceso de producción (Huella de Carbono) mediante la fórmula:

Emisiones de CO₂ = DA*FE

DA= Dato de actividad

FE= Factor de emisión

- Se aplican entrevistas semi-estructuradas a las personas involucradas en el proceso productivo para identificar los datos de actividad (DA).

- Se identifican los sumideros de CO₂ y se realizan los estudios eco-fisiológicos, por ejemplo:

La medición de fijación de CO₂ que están realizando los árboles, mediante la fotosíntesis.

Figura 8. Metodología basada en ISO 14064 para la huella de carbono. Elaboración propia.

Con el fin de entender el manejo de la huerta y el mismo sistema de producción de aguacate, así como de sensibilizar a los involucrados, se aplicaron entrevistas semi-estructuradas (anexo 1) a los productores, trabajadores y proveedores. De igual forma se llevó un análisis de insumos durante el año de estudio (consumo de combustibles fósiles,

consumo de energía eléctrica, consumo de fertilizantes, entre otros) para conocer a detalle el proceso y manejo de productos utilizados en el sistema productivo e identificar áreas de oportunidad para la intervención e implementación de medidas de mitigación (Hernandez-Sampieri 2010).

Se analizó la emisión de GEI en cada etapa de los diferentes procesos del sistema de producción de aguacate. Por ejemplo, para la estimación de la huella de carbono de energía eléctrica, el cálculo consiste en aplicar la siguiente fórmula:

$$\text{Huella de carbono (HdC)} = (\text{DA}) (\text{FE})$$

dónde: el dato de actividad (DA), es la variable que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI, el (DA) es obtenido mediante la aplicación de las entrevistas y el análisis de las bitácoras de producción. El factor de emisión (FE) supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad de la variable DA. Estos factores varían en función de la actividad que se trate y son establecidos por entes internacionales como el IPCC. En este caso utilizamos el factor de emisión establecido por el Instituto Nacional de Cambio Climático de México (INECC). Por ejemplo, en relación a la actividad descrita anteriormente (consumo de energía eléctrica utilizada en el enfriamiento y/o conducción de agua), el factor de emisión fue consultado en la base de datos oficial en kg CO₂ eq/kWh. Como resultado de esta fórmula obtuvimos una cantidad (g, kg, t, etc.) determinada de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq).

La huella de carbono puede ser abordada dependiendo de la forma de producción y su alcance específico. Para este proyecto se evaluaron los alcances obligatorios (Alcances 1 y 2) establecidos para el cálculo de huella de carbono en la ISO 14064 (ISO, 2006) que a continuación se describen.

6.2.2 Emisiones de Alcance 1

Dentro de las emisiones de Alcance 1 se presentan cuatro grandes tipologías:

- Generación/consumo de electricidad, calor o vapor: resultan de la combustión de combustibles en fuentes fijas: calderas, hornos, turbinas, etc.

- Procesos físicos o químicos: aplicación (consumo) y procesamiento de productos químicos, materiales o residuos.
- Transporte de material, productos, desechos y empleados: vehículos que son propiedad de la empresa o están controlados por ella (por ejemplo, camiones, autobuses y automóviles).
- Emisiones fugitivas: originadas por fugas en juntas o sellos de equipos, emisiones de HFC procedentes del uso de aires acondicionados, fugas de metano en el transporte de gas, etc. (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

6.2.3 Emisiones de Alcance 2

Las emisiones de alcance 2 son las asociadas al consumo de energía en proceso sobre los que no se tiene control o propiedad. Esta energía puede presentarse en forma de energía eléctrica o energía térmica.

Es importante señalar que únicamente se contabilizan las emisiones que son resultado de la generación de la energía. Por lo tanto, las emisiones indirectas asociadas a la construcción de las infraestructuras o a la transmisión y distribución no pertenecen al Alcance 2 (Álvarez, Rubio, & Rodríguez, 2015).

6.3. Fase 2: Acciones de mitigación de la huella de carbono que incidan en la neutralización del carbono.

La elaboración y puesta en marcha de un plan de reducción y mitigación de la huella de carbono se basó en la metodología de la MAPAMA (2014) la cual señala que: “Una vez realizado el ejercicio de cálculo de huella de carbono, el sistema conoce y determina las principales actividades que contribuyen a generar GEI y en qué áreas puede trabajar para conseguir su reducción y mitigación. Con base en las medidas de reducción seleccionadas se pueden establecer objetivos cuantitativos para la reducción que aporten un horizonte claro de las metas que se pretenden lograr”. A continuación, se describen los pasos a seguir para el establecimiento de un objetivo cuantificable de reducción de emisiones de huella de carbono.

Para la puesta en marcha del modelo de manejo integral de huella de carbono se planificaron las acciones, estableciendo un calendario y responsables para la implantación de

cada una de las medidas. Calendarización para revisar los objetivos para garantizar que posibles desviaciones son corregidas. La mejora continua es la mejor opción para garantizar un eficiente consumo energético y la menor emisión de GEL.

Aunadas a la estimación de la huella de carbono se determinaron las acciones posibles para mitigar el excedente, dichas acciones tienen la meta de conseguir la neutralización del sistema de producción de aguacate Hass en Jalisco. Todas las medidas de mitigación propuestas deben de ser reales y alcanzables.

6.3.1 Estudios ecofisiológicos

En esta etapa del estudio se determinó la capacidad de captura de Carbono de *Persea americana* por medio de la medición de la capacidad fotosintética de la especie. Para esta etapa se hizo el registro de fijación de carbono de manera instantánea *in situ* (capacidad de fijación por intercambio de gases) y tasa de almacenamiento de carbono. Las mediciones se realizaron en la unidad de producción de aguacate Hass, en un periodo de doce meses (dos en cada mes).

La metodología implementada para determinar intercambio de gases se basó en estudios realizados en el área de ecofisiología vegetal con adecuaciones elaboradas ex profeso para el presente estudio. Para el propósito de la fijación de carbono en *P. americana* las mediciones de las tasas instantáneas de asimilación neta de CO₂, nos proporcionaron datos puntuales y específicos de asimilación para el sistema de producción de aguacate Hass, generando datos que permitieron crear una proyección considerando otros factores (respiración y fotorrespiración). Basados en estos datos se pudo generar una estimación neta de carbono en el sistema mencionado.

6.2.2 CO₂ atmosférico

Con el fin de determinar la disponibilidad de CO₂ externo se realizaron mediciones microambientales de CO₂; las cuales se efectuaron de forma itinerante a la par de la medición de intercambio de gases, cada hora a lo largo del día empleando un analizador al infrarrojo de CO₂.

6.2.3 Intercambio de gases

La determinación de intercambio de gases en árboles de aguacate Hass se realizó, como se mencionó, en la unidad de producción Tlaxcolomo A. Las tasas instantáneas de asimilación de CO₂ se registraron con un sistema portátil al infrarrojo (CI-340) para medir intercambio de gases (fotosíntesis/respiración), en hojas de diferentes posiciones del follaje de la especie de estudio. Con los datos obtenidos del intercambio de gases se calculó la tasa de fijación de carbono. Estas mediciones nos permiten identificar la cantidad de dióxido de carbono que está fijando la planta mediante la fotosíntesis, la cual incidió en la medición de la huella de carbono. Figura 9.

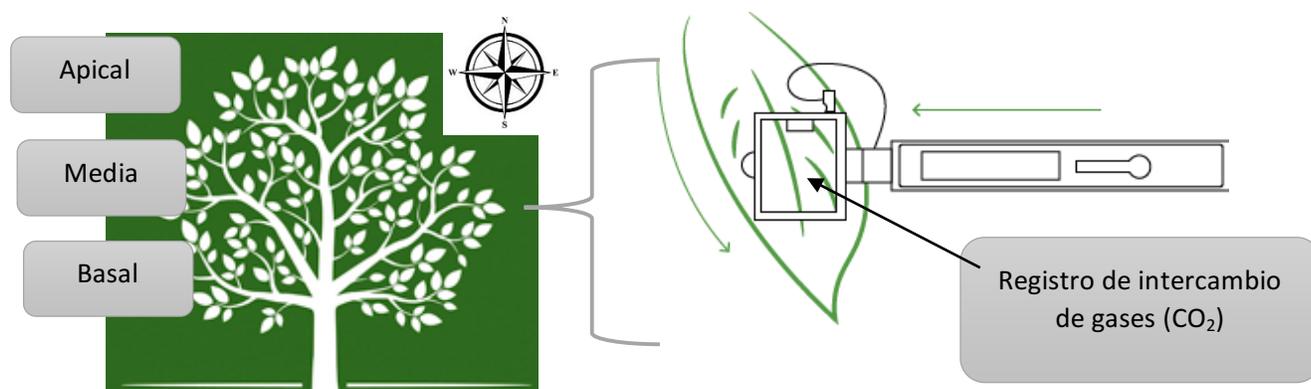


Figura 9. Esquema de registro de datos de intercambio de gases (fijación neta de CO₂) in situ en árboles en diferentes puntos cardinales y disposición apical, media y basal, con el CI-340 CID Bio Science. Elaboración propia.

6.2.4 Estimación de área foliar

Con el fin de realizar el cálculo de la capacidad de fijación de carbono de la especie de estudio de forma integral, y para complementar los datos obtenidos de las mediciones de intercambio de gases, se determinó el área foliar de la fronda con la ayuda de un medidor de área foliar CI-202.

6.2.5 Datos microclimáticos

El flujo fotosintético de fotones [FFF, longitud de onda de 400 a 700 nm], se registró a la par de las mediciones de intercambio de gases con un sensor cuántico. Las mediciones se realizaron en campo abierto en la unidad de producción cada hora desde las 7:00 a las 19:00 hrs.

Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva en la presentación global de los datos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio están expresados en tres fases diferentes, Huella de Carbono del sistema de cultivo de aguacate, captura de CO₂ por el por el proceso fotosintético medido *in situ* y medidas de mitigación propuestas y consideradas a partir de los resultados de las dos primeras fases.

7.1. Fase 1. Huella de Carbono

7.1.1 Contabilización de emisiones

Los datos obtenidos y relacionados con los alcances 1 y 2 de la metodología ISO 14,064, recabados a partir de entrevistas con el personal involucrado (Figura 10) en el proceso de producción de aguacate del área de estudio (ingenieros especializados en fertilización y control de plagas, encargados de inocuidad, jornaleros dedicados a la aplicación de riego y aplicación de agroquímicos; asimismo en el empaque se tuvo un acercamiento con los encargados del sistema de producción), indican que la emisión de gases de efecto deriva principalmente de cinco rubros, los resultados de los flujos de GEI se calcularon en términos de un año de producción (proceso) y por hectárea (en la Tabla 4 se pueden apreciar los valores específicos por rubro identificado y evaluado):

1. Consumo de combustibles fósiles, relacionados con el uso de gasolina, diésel y gas L.P. para los vehículos que se emplean en el manejo de las plantaciones (transporte del personal dentro de la huerta, mantenimiento de las plantaciones y aplicaciones de agroquímicos entre otros), fueron estimados por medio de entrevistas. Se recabaron datos que se tienen registrados en bitácoras integrando el volumen anual en todas las etapas de la cadena de producción (Figura 12).
2. Consumo de energía eléctrica, la cual es empleada principalmente para el riego, se tomó de los reportes emitidos en los recibos de la Comisión Federal de Electricidad (Figura 13). En este aspecto encontramos que el sitio evaluado carece de energías alternativas para la producción de energía eléctrica. En el sistema de producción de aguacate en el sitio evaluado se realiza riego por goteo el cual implica, además de la

dosificación regular de tres veces por semana, el bombeo de agua, por lo que la emisión de GEI se cuantifica en este sistema de producción como de los más importantes.

3. Aplicación de fertilizantes. La cantidad de fertilizantes de tipo nitrogenado, fósforo y potasio, se calculó de forma anual mismas que se aplican en el riego, mientras que el control de plagas se realiza de forma mecánica con las turbinas ubicadas en pipas o camionetas, o bien en forma manual con bombas de tipo mochila (Figura 11).
4. Manejo de sus residuos. Las emisiones generadas en este sistema de producción se asocian principalmente a los contenedores de agroquímicos, y son principalmente residuos plásticos, mismos que por normatividad deben de tener manejo especial desde la separación hasta la disposición final. La separación se realiza de forma sistemática en áreas destinadas específicamente con este propósito y la disposición final se realiza por Campo Limpio, que es un programa normado por la por la SADER (antes SAGARPA), creado en conjunto con la SEMARNAT. Igualmente se registraron otros residuos plásticos, de cartón u orgánicos generados dentro del proceso de producción (Figura 14).
5. Material de empaque. Para estimar las emisiones generadas específicamente por el material de empaque se tomó en consideración las charolas, cajas y redes utilizadas con este propósito, así el plástico y el cartón figuraron como los elementos más comunes para el almacenamiento y transporte, principalmente como producto de exportación, con una limitación en el material de reciclado (Figura 15).



Figura 10. Entrevistas con el productor y encargados del manejo de la unidad de estudio.

Tabla 4. Consumo anual de la unidad de producción

| RUBROS | | TIPO DE ALCANCE | CONSUMO 2017 |
|---|--------------------------------------|-----------------|--------------|
| CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES  | GASOLINA | ALCANCE 1 | 280.60 L |
| | DIESEL | ALCANCE 1 | 1,678.43 L |
| | GAS LP | ALCANCE 1 | 173.07 L |
| CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  | CFE | ALCANCE 2 | 7,930.00 kW |
| | CELDA SOLAR | NA* | NA* |
| FERTILIZANTES  | FERTILIZANTES | ALCANCE 2 | 8,896.40 Kg |
| MANEJO DE RESIDUOS  | ORGÁNICOS Y PLÁSTICOS NO RECICLABLES | ALCANCE 1 | 2,970.00 kg |
| | PLÁSTICOS (ENVASES VACIOS) | ALCANCE 1 | 49.5 kg |
| | CARTÓN | ALCANCE 1 | 33.50 Kg |
| EMPAQUE  | PLÁSTICO | MALLA | NA |
| | | CAJA | 17,733.33 Kg |
| | CARTÓN | | ALCANCE 2 |



Figura 11. Aplicación de fertilizantes en la unidad de estudio.



Figura 12. Vehículos y combustibles utilizados para el manejo de la unidad de producción de aguacate.



Figura 13. Consumo de electricidad en los sistemas de riego y fertilización.



Figura 14. Manejo de los residuos generados dentro del proceso de producción.

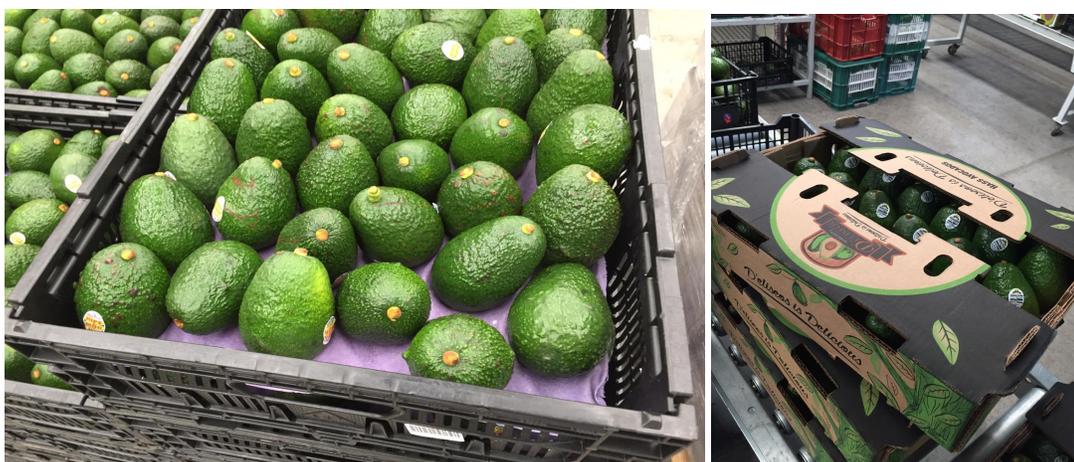


Figura 15. Materiales utilizados en el empaque de la producción.

Tabla 5. Huella de Carbono anual en Tlaxcolomo "A" donde se consideran los rubros asociados con la producción de aguacate y empaque, unidad de producción de 19 hectáreas.

| RUBROS | | CONSUMO 2017 | HdC | HdC por ha |
|---|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES  | GASOLINA | 280.60 L | 634.15 KgCO ₂ eq | 278.51 KgCO ₂ eq |
| | DIESEL | 1,678.43 L | 4,380.70 KgCO ₂ eq | |
| | GAS LP | 173.07 L | 276.91 KgCO ₂ eq | |
| CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA  | CFE | 7,930.00 kW | 4,615,260.00 KgCO ₂ eq | 242,908.42 KgCO ₂ eq |
| | CELDA SOLAR | NA* | NA | |
| FERTILIZANTES  | FERTILIZANTES | 8,896.40 Kg | 27,934.69 KgCO ₂ eq | 1,470.24 KgCO ₂ eq |
| MANEJO DE RESIDUOS  | ORGÁNICOS Y PLÁSTICOS NO RECICLABLES | 2,970.00 kg | 599.94 KgCO ₂ eq | 715.58 KgCO ₂ eq |
| | PLÁSTICOS (ENVASES VACIOS) | 49.5 kg | 84.15 KgCO ₂ eq | |
| | CARTÓN | 33.50 Kg | 31.49 KgCO ₂ eq | |
| EMPAQUE  | PLÁSTICO | MALLA | NA | 3,266.66 KgCO ₂ eq |
| | | CAJA | 17,733.33 Kg | |
| | CARTÓN | NA | NA | |
| TOTAL | | | 4,711,268.68 KgCO ₂ eq | 247,961.50 KgCO ₂ eq |

Tabla 6. Huella de Carbono considerando la producción de 1 Kg de aguacate en Tlaxcolomo “A”.

| Unidad de Producción | Huella de Carbono por Kg de aguacate Kg CO ₂ eq/Kg de aguacate | Huella de Carbono por Kg de aguacate Kg CO ₂ eq/Kg de aguacate considerando la fijación de CO ₂ |
|----------------------|---|---|
| Tlaxcolomo A | 12.39 | 5.47 |

En este estudio pudimos ver que la huella de carbono obtenida considerando tan solo las emisiones GEI del sistema de producción de aguacate Hass es comparativa a rubros evaluados en otros sistemas de producción de alimentos y bebidas (Tabla 5), ya que las metodologías empleadas para sistemas de agroproducción en otros estudios reportados consideran los rubros que a nivel internacional impactan con mayor intensidad al medio ambiente como son la aplicación de fertilizantes, pesticidas, empaque y por supuesto el riego (Shiva, 2018). Es bien sabido que la actividad agrícola a nivel mundial ha tenido un impacto muy significativo (particularmente desde la revolución verde) sobre todos los componentes del medioambiente, como son el agua (particularmente el agua dulce, que es un recurso con mayor limitación en nuestra era), el aire, la atmósfera, el suelo, la biodiversidad y el paisaje (Steinfeld et al., 2006).

El cultivo de aguacate, al igual que otros cultivos intensivos, demanda una gran aplicación de energía antropogénica, así en este estudio el rubro con mayor contribución de huella de carbono fue el de consumo de energía eléctrica que está directamente relacionado con el riego y la nutrición del árbol, es decir, está asociado con el sistema de producción en la etapa de cultivo. Igualmente pudimos verificar que la aplicación de agroquímicos se hace (en su mayoría) en el sistema de riego, actividad que significó el 97.45 % dentro de los rubros considerados en este estudio. Debido a que es un sistema de producción evidentemente intensivo es una acción difícil de evitar, sin embargo, la identificación de este factor es importante para elegir estrategias para el trabajo, bajo el concepto de eco-eficiencia (Rodríguez, 2014).

Dado los volúmenes de exportación que se manejan del aguacate (APEAJAL, reporta que el estado de Jalisco en el año 2018 exportó 90,000 toneladas), es importante considerar

la reducción del gasto energético del empaque, ya que difícilmente se emplea material reciclado como otras industrias. En otras investigaciones, como el de producción de vino en la República de Chile, se identificó al empaque (botella de vino) como el principal factor de emisión de GEI (Olmos, 2012); esto puede compararse con el empaque del aguacate debido a que el material con el que se empaca actualmente no es reciclado dadas las exigencias del mercado internacional, evidenciadas en las visitas que se hicieron al empaque, y en la valoración que se hace con el sistema general de empaque en la zona, se pudo constatar que no es una actividad sustentable que se exija o se recompense por la cadena de producción, por el gobierno o por organismos certificadores. En el caso del vino se utilizaron botellas con vidrio reciclado lo que les permitió mitigar las emisiones al 50% siendo el uso de materiales reciclados una alternativa viable para la mitigación de emisiones.

En relación a lo anterior, podemos mencionar que, además de las recomendaciones que se puedan hacer para disminuir la huella de carbono, es importante ampliar los estudios a otros factores que pudieran estar asociados al sistema de producción, asimismo los factores ambientales y ecofisiológicos de la especie de estudio por ejemplo la fijación de CO₂ que puede disminuir considerablemente los datos de HdC (Tabla 6).

Se puede identificar que el factor de emisión con mayor importancia depende del sistema productivo que se esté evaluando, así como de las condiciones de manejo que se le den a cada producto y la metodología considerada para la evaluación en la Tabla 7 podemos ver la variedad de rubros que se pueden considerar, en la producción de aguacate el consumo de energía eléctrica es la principal fuente de GEI debido a que la extracción de agua de pozo para riego la realizan mediante bombas eléctricas representando el 97.45 % de la HdC (Figura 16).

Una forma de favorecer el camino hacia la neutralidad de C son los programas de prácticas mejoradas de manejo como por ejemplo del suelo con la utilización de cubiertas vegetales y la incorporación de los residuos de poda al suelo (Garrido, 2017).

Una de las principales aportaciones de este estudio, además de la medición de la Huella de Carbono con la metodología ISO 14,064 es la consideración de la tasa de secuestro de C propia del proceso fisiológico de captura de CO₂, esto significa una estimación más apegada a la realidad, a la vez que aporta un diagnóstico realizado *in situ* bajo las condiciones

ambientales propias del cultivo específico, que es un elemento importante para la comercialización tanto nacional como internacional del aguacate, toda vez que el mercado cada vez más busca los productos producidos con una referencia ambiental.

Tabla 7. Comparación de rubros que aportan mayor HdC en diferentes sistemas productivos

| Cultivo | Rubro con mayor impacto | Autor |
|----------------|--------------------------------|--|
| Aguacate | Consumo de energía eléctrica | Estudio actual |
| Lechuga | Estructura del invernadero | (Suárez-Rey, 2014) |
| Arroz | Fertilizantes | (Andrade, Campo, & Segura, 2014) |
| Caña | Fertilizantes | (Hernán, Milena, & Varona, 2015) |
| Vino | Empaque | (Olmos, 2012) |
| Maní | Combustibles fósiles | (Bongiovanni, Tuninnetti, & Garrido, 2016) |

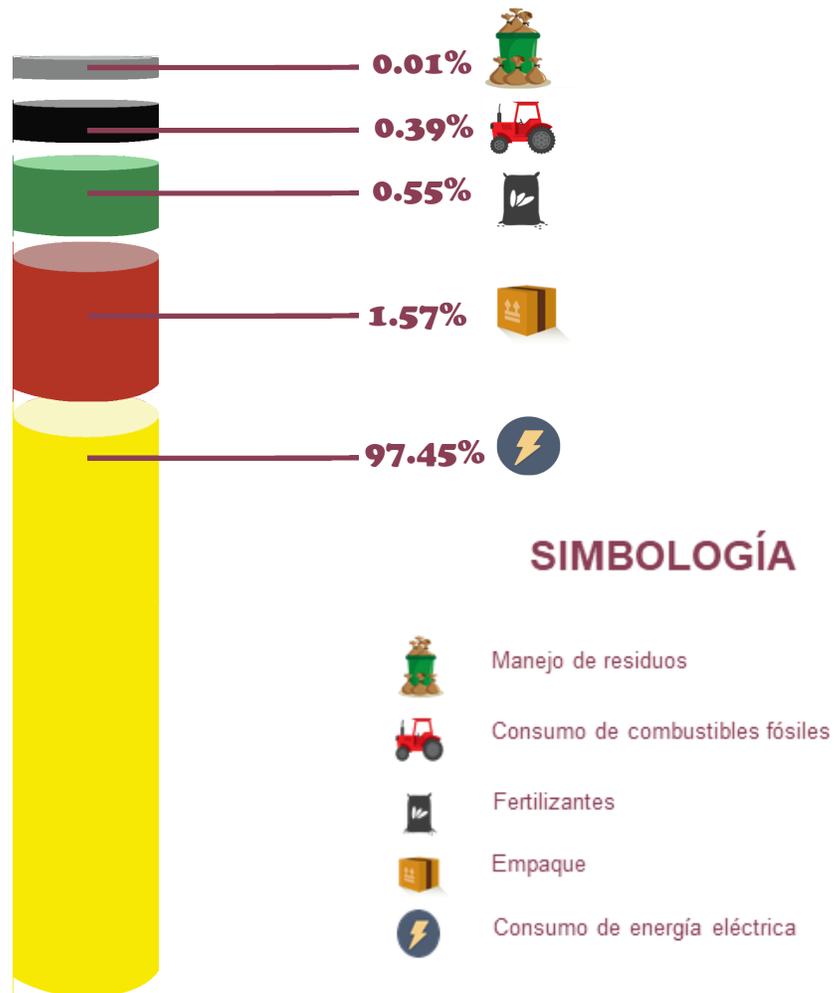


Figura 16. Porcentaje de huella de carbono por rubro. Elaboración propia.

La producción de aguacate en el sitio de estudios es un modelo de producción intensiva debido a la cantidad de consumo energético a lo largo del año, lo cual es consistente con lo planteado por la (FAO 2017) y (Shiva 2018) quienes proponen que el actual modelo de producción de alimentos, lejos de concentrarse en un modelo sustentable se centra en la maximización de la rentabilidad. En este sentido la agricultura con una visión ecológica permite identificar realizar acciones en sentido de reducción de impacto ambiental y el manejo adecuado de los recursos naturales.

La producción intensiva y altamente tecnificada de este alimento de exportación, permite garantizar calidad y tiempos de producción. Sin embargo, es posible que los

consumidores soliciten la aplicación de medidas que contribuyan a una agricultura enmarcada en la sustentabilidad priorizando el manejo adecuado de los recursos naturales.

7.1.2 Hoja de cálculo para la estimación de Huella de Carbono en la unidad de producción de aguacate.

A partir de los rubros identificados involucrados en el sistema de producción de aguacate se generó un modelo de hoja de cálculo para la huella de carbono que permita a los productores del aguacate Hass la oportunidad de tener un diagnóstico primario de la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos dentro de su producción. Esta hoja de cálculo cuenta con los factores de emisión actualizados y específicos para México, siendo una herramienta innovadora que permite calcular la huella de carbono en el sector agrícola (SDA, 2015) para promover buenas prácticas que conduzcan al manejo integral sustentable en los sistemas de producción del aguacate Hass.

La hoja de cálculo contempla la introducción de datos relativamente sencillos que los productores pueden proporcionar para generar una estimación de la huella de carbono en la producción por kilogramo de aguacate. Los datos que se proporcionarán están relacionados con el consumo anual de energía (p.ej. eléctrica, combustibles fósiles, fertilizantes, residuos y empaque). La hoja de cálculo se anexa en formato Excel (Figura 17).

La hoja de cálculo en otros sistemas de producción o medición de huella de carbono han resultado una estrategia útil para identificar los componentes del sistema que permitan encaminar los esfuerzos a acciones específicas para disminuir la huella del carbono. Estas acciones generalmente pueden convertirse en una estrategia que permita además de la disminución de GEI, de alternativas económicamente redituables para el productor y para el empaque, como por ejemplo la inversión en energías verdes.

Algo importante a resaltar es que es la primera calculadora de HdC para el sector agrícola ya que existen muchas calculadoras que están dirigidas a empresas o a personas, pero no a la producción de alimentos.

| Rubros | | Consumo anual | Huella de Carbono en KgCO ₂ eq |
|---|---------------------------------|--|---|
|  | CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES | Gasolina* | 0.00 |
| | | Diesel * | 0.00 |
| | | Gas Lp • | 0.00 |
|  | CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA | CFE • | 0.00 |
| | | Celda Solar ♦ | 0.00 |
|  | FERTILIZANTES | Fertilizantes • | 0.00 |
|  | MANEJO DE RESIDUOS | Orgánicos y plásticos no reciclables • | 0.00 |
| | | Plásticos (envases vacíos)• | 0.00 |
| | | Cartón • | 0.00 |
|  | EMPAQUE ★ | Plástico | Caja 0.00 |
| | | | Malla 0.00 |
| | | Cartón | Caja 0.00 |
|  | FIJACIÓN DE CARBONO | | 0.00 |
| TOTAL EN KgCO ₂ eq | | | 0.00 |
| Huella de Carbono por Kg de aguacate | | | #¡DIV/0! |
| *Litros | | | |
| •Kilogramos | | | |
| ♦Kilowatts | | | |
| ★Registrar el total de kilogramos de producto empacado en cada rubro | | | |

Figura 17. Hoja de cálculo de huella de carbono. Elaboración propia.

7.2. Fase 2. Fijación de CO₂ por procesos fotosintéticos

Con la finalidad de integrar datos que forman parte de la estimación de fijación de CO₂ por parte de los árboles de aguacate (basados en la hoja de cálculo generada en este proyecto), se describen factores microambientales que caracterizan el sitio de estudio y que puede hacer replicable la estimación de la huella de carbono integrando los valores tanto de la producción de gases de efecto invernadero como de la fijación de CO₂ por el proceso fotosintético. Es importante mencionar que las condiciones ambientales son un factor importante para la eficiencia fotosintética, dado que está fuertemente influenciada por la temperatura (hace más o menos eficiente la actividad de la enzima RUBISCO, encargada de la fijación del CO₂ durante la fotosíntesis, o bien puede favorecer las tasas de respiración (disminuyendo la eficiencia de fijación de este gas de efecto invernadero).

Igualmente, la disponibilidad de la luz fotosintéticamente activa puede indicar la necesidad de labores de poda o de distancia entre árboles. Una de las recomendaciones que se hicieron en este estudio fue justamente que se realizara el aclareo de espacios (lo cual fue consistente con labores de poda realizadas en la unidad de producción evaluada) ya que pudimos constatar que hubo respuesta positiva a los estímulos de luz, lo que significa mayor captura de carbono y por lo tanto mayor eficiencia en la elaboración de fotosintetizados.

7.2.1 Datos microclimáticos

El Flujo Fotosintético de Fotones (FFF); es decir, el rango de luz que es fotosintéticamente activa), fue registrado en campo abierto y en dosel (Figura 18) con un porcentaje promedio en el sitio de estudio de FFF en dosel del 14% con relación al FFF total $1504 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 8). La presencia de nubes se refleja en los totales de disponibilidad de luz tanto en campo abierto como bajo dosel, esta situación tiene una relación directa con la eficiencia fotosintética, con el FFF pudimos identificar que la especie cuenta con plasticidad fotosintética ya que puede hacer sus funciones de fotosíntesis a distintos rangos de luz.

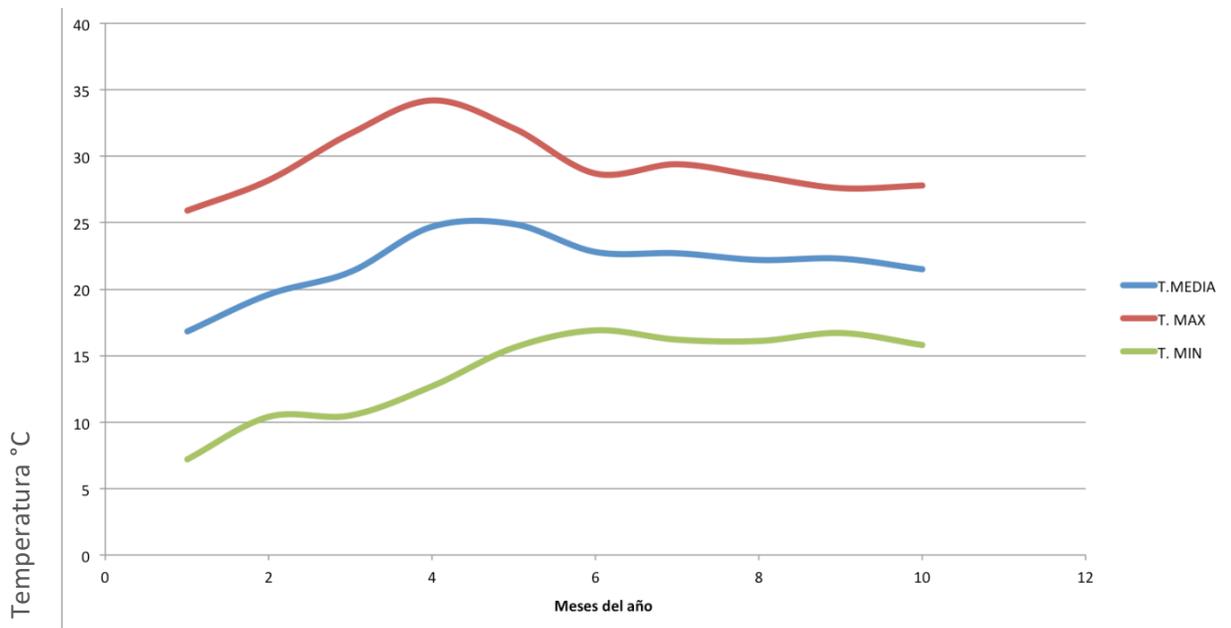
Tabla 8. Datos microclimáticos de la unidad de estudio.

| Unidad de Producción | Temperatura °C | FFF total $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ | FFF dosel $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ | Porcentaje de FFF en dosel % |
|----------------------|----------------|---|---|------------------------------|
| Tlaxcolomo A | 20.1 | 1559 | 314 | 20 |



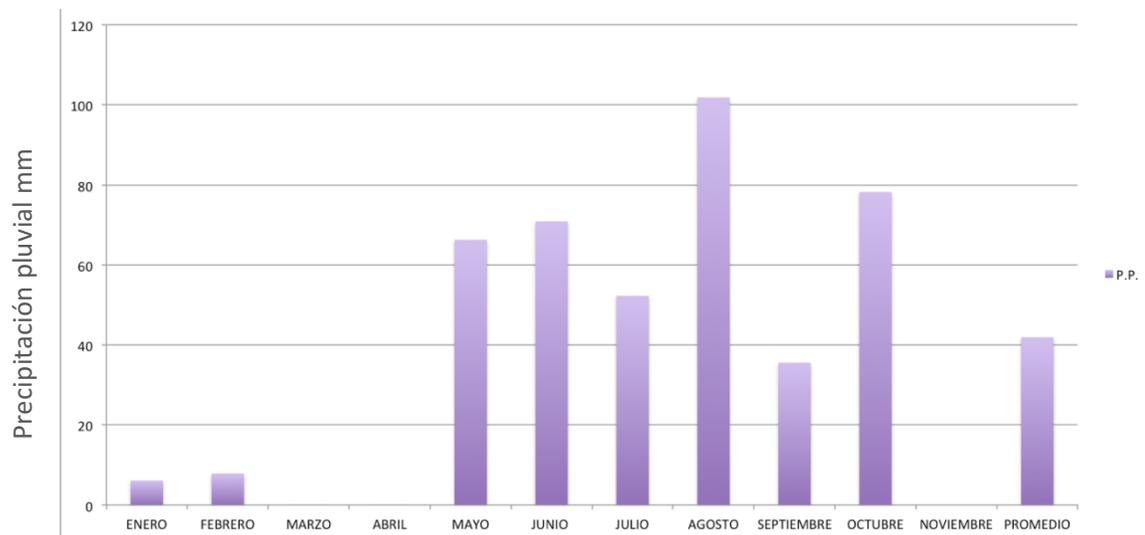
Figura 18. Registro de datos microclimáticos en la unidad de estudio.

Tabla 9. Temperaturas mensuales del año 2018 en Zapotlán El Grande, Jalisco, México.



Fuente: Comisión Nacional del Agua.

Tabla 10. Precipitación mensual del año 2018 en Zapotlán El Grande, Jalisco, México.



Fuente: Comisión Nacional del Agua.

7.2.3 CO₂ atmosférico

Se determinó la disponibilidad de CO₂ externo o atmosférico (Figura 19) realizando mediciones microambientales en cada fecha de medición las cuales se realizaron de forma itinerante, a la par de la medición de intercambio de gases y del registro de FFF a lo largo del día empleando un analizador al infrarrojo de CO₂. En las plantas C₃, como el aguacate, la disponibilidad de agua es un factor determinante para la eficiencia fotosintética y está asociado a la disponibilidad de CO₂ atmosférico.



Figura 19. Determinación *in situ* de CO₂ atmosférico.

Tabla 11. Valor promedio de CO₂ atmosférico en la unidad de estudio.

| Unidad de Producción | CO ₂ atmosférico ppm |
|----------------------|---------------------------------|
| Tlaxcolomo A | 311 |

Los datos registrados indican que son zonas con poca contaminación, en referencia a la concentración de dióxido de carbono, ya que se presentan valores inferiores a 400 ppm, característicos de zonas urbanas (Tabla 11).

7.2.4 Intercambio de gases

La determinación de intercambio de gases en árboles de aguacate se realizó en la unidad de producción en el año de 2018 (Figura 22). Las tasas instantáneas de asimilación de CO₂ se midieron con un sistema portátil al infrarrojo CI-340 con la finalidad de registrar datos puntuales de intercambio de gases, en hojas de diferentes posiciones del follaje de la especie en estudio.

En este punto es necesario mencionar que *Persea americana* es un árbol perenne, lo cual, generalmente, implica que los datos de fotosíntesis neta sean valores relativamente inferiores a las especies de hoja caduca o bien a los de especies herbáceas por ejemplo los datos reportados en la especie *Ficus benjamina* L. que pueden ir de rangos de $15.69 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a $22.01 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Pérez, 2013). La vida promedio de una hoja es de alrededor de un año, por lo que se determinó la fotosíntesis neta en diferentes edades de hoja para obtener valores promedio (Tabla 13).

Los valores obtenidos de la fijación de CO_2 que realizan los árboles nos muestran que están relacionados con los datos microclimáticos del ambiente como lo es la temperatura, la humedad y la disponibilidad de CO_2 , por ejemplo en temperaturas elevadas identificamos valores de fotosíntesis neta de $12 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y en temperaturas bajas valores cercanos a $4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ lo cual concuerda con lo expresado por Miquel (2001) que menciona que los árboles a baja temperatura disminuyen sus reacciones bioquímicas ralentizan su metabolismo, caso similar observamos al medir fotosíntesis a distintos rangos de luz, de aquí la importancia de considerar los datos microclimáticos Tabla 8 y Tabla 11 en la asimilación de CO_2 de los árboles (Tabla 13).

De igual forma para complementar los datos obtenidos en campo se realizaron análisis en laboratorio como fue la medición de área foliar de hojas y el conteo estomático Tabla 12 y Figuras 20 y 21, los datos obtenidos de este estudio nos permitieron obtener información sobre el área foliar del árbol y así poder calcular la asimilación de CO_2 por árbol $171,600 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Tabla 14).

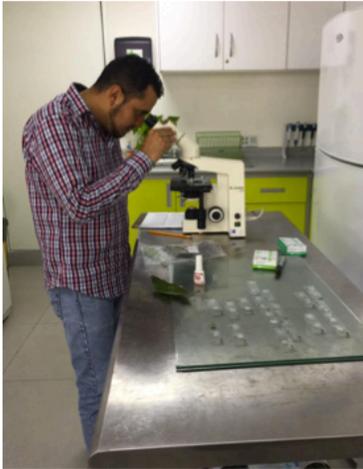


Figura 20. Análisis de área foliar y conteo estomático para complementar los análisis de campo.



Figura 21 Mediciones de área foliar de diferentes muestras.

En otras especies arbóreas, los puntos de saturación lumínica están asociados a valores superiores a $500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, siendo que el registro de FFF bajo dosel fue de $215 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, es importante señalar los registros de fotosíntesis neta indican que la especie tiene plasticidad fotosintética, es decir que aún con condiciones de luz que se pudieran considerar bajas, la especie responde a estímulos de luz, como ya se demostró en estudios anteriores (Ramírez Hernández, 2004) la fijación de CO_2 está relacionada a diferentes factores microclimáticos específicos del área de estudio. Las condiciones de humedad se asocian también a una eficiencia fotosintética, la cual está relacionada al propio proceso de fotosíntesis, directamente vinculado con la fijación de fotones y el intercambio de gases.

Tabla 12. Resultados de conteo estomático en hojas de diferentes etapas fisiológicas con un microscopio con aumento de 40 X.

| Etapa fisiológica | Promedio de estomas |
|--------------------------|----------------------------|
| Hoja joven | 42.75 |
| Hoja media | 43.23 |
| Hoja adulta | 48.73 |



Figura 22. Determinación de intercambio de gases mediante sistema portátil al infrarrojo.

Tabla 13. Valores promedio de asimilación neta de CO₂ $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ CO₂ en la unidad de Producción Tlaxcolomo “A”.

| Unidad de Producción | Asimilación Neta | Asimilación Neta | Asimilación Neta |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | de CO ₂ | de CO ₂ | de CO ₂ |
| | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| | Mínimo | Máximo | Promedio |
| Tlaxcolomo A | 4.75 | 12.42 | 8.58 |

En esta etapa del estudio se determinó la capacidad de fijación de carbono por medio de la medición de la capacidad fotosintética de la especie (Tabla 13) y podemos identificar un rango de fotosíntesis de $4.57 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a $12.42 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Tabla 14. Valores promedio de fijación neta de CO₂ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ CO₂ en la unidad de producción Tlaxcolomo “A”.

| Unidad de Producción | Asimilación Neta | Asimilación de CO ₂ |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | de CO ₂ | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ |
| | $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ | Por árbol |
| | Promedio | |
| Tlaxcolomo A | 8.58 | 171,600 |

De los datos obtenidos del intercambio de gases se calculó la asimilación de carbono por árbol para posteriormente obtener la fijación de CO₂ por la superficie de producción y se compara con la fijación de otras especies por hectárea (Tabla 15) en donde podemos identificar que tiene una tasa anual de fijación similar a especies leñosas como son el cacao y el árbol de Líbano.

Por otro lado, cuando se considera la fijación neta de CO₂ por el proceso fotosintético y, tomando en cuenta los valores promedio, la HdC disminuye, al integrar a los factores de emisión GEI las tasas de fijación de este gas de efecto invernadero. Normalmente la actividad

agropecuaria no considera en el proceso de medición de HdC la fijación fisiológica, y cuando lo hace se toman en cuenta factores dasométricos o de biomasa calculada, pero no de la fijación *in situ*. No se pueden generalizar las mediciones de otros cultivos e inclusive del mismo cultivo en diferentes latitudes, como se comentó anteriormente, el hecho de considerar las condiciones micrombientales son determinantes para que se calcule de forma real la huella de carbono de forma integral.

Asimismo, el implemento de tecnologías verdes puede contribuir a una producción de aguacate más sustentable. En este contexto, consideramos que acciones como favorecer convenios de acompañamiento de certificación nacional con las certificadoras internacionales con la finalidad de implementar un modelo jalisciense de posicionamiento de producción sustentable es posible, dentro de un marco regulatorio ambiental. Esto significaría una política que sistemáticamente conduzca a la disminución de la huella de carbono en los productos agrícolas, ya que cada parte de la cadena de producción, distribución y almacenamiento cuenta en la sumatoria total de los GEI

Tabla 15. Fijación de C de diferentes especies

| Cultivo | Tasa anual de fijación en ton de C/ha |
|-----------------|---------------------------------------|
| Aguacate | 1.7 |
| Cacao | 1.1 |
| Cafetales | 0.4 |
| Árbol de Líbano | 1.0 |

Adaptado de Andrade et al, 2014.

7.3. Fase 3. Mitigación de la huella de carbono

Como resultado del presente estudio se realiza una serie de recomendaciones para conducir a una huella de carbono neutra en la unidad de producción de aguacate en el estado de Jalisco. Las medidas sugeridas, además de las implementaciones técnicas, de manejo y consumo de energía en los diferentes rubros presentados son parte de la estrategia para consolidar la unidad de producción de aguacate como un sistema sustentable y que sea un modelo para la producción de alimento de bajo impacto ambiental (Tabla 16) entre las principales medidas

de mitigación destacan algunas que solo es cuestión de manejo de la huerta por ejemplo la aplicación de biofertilizantes como puede ser algunos lixiviados y compostas que complementen el uso de fertilizantes químicos así como un plan adecuado de fertilización (Armenta & García, 2010), de la misma manera se pueden tomar medidas de manejo en el rubro con mayor emisiones (energía eléctrica) entre las que destaca, el riego y fertilización por las noches para disminuir la pérdida de agua por evapotranspiración, uso de energía alternativa, por ejemplo, paneles solares fotovoltaicos, hacer sistemas de captación de agua de lluvia para reducir el consumo de energía eléctrica por bombeo para extracción de agua, sustitución de lámparas LED para la mejora del alumbrado en la unidad de producción agrícola disminuyendo el calentamiento y aumentando la eficiencia.

La generación de productos agroalimentarios con huella de carbono baja o neutra debe estar guiada de un acompañamiento integral de las asociaciones como el APEAJAL; de espacios gubernamentales como la SADER y de la academia, como el Laboratorio de Sustentabilidad y Ecología Aplicada de la Universidad de Guadalajara. En ese sentido acciones específicas como informar sobre la importancia de la Huella de Carbono a toda la cadena de producción (productores, empacadores e intermediarios) y consumo a través de la promoción, difusión y certificación nacional con acompañamiento para las certificadoras internacionales con la finalidad de implementar un modelo jalisciense de posicionamiento de producción sustentable, así como promover acciones de prevención para el posicionamiento internacional en un marco regulatorio ambiental.

El primer paso es identificar la H de C por la página diseñada con ese propósito, el segundo paso es identificar las medidas de manejo específicas para el sistema de producción de aguacate, lo cual implica un esfuerzo y compromiso ambiental.

Tabla 16.Recomendaciones para la reducción de la huella de carbono en la unidad de producción de aguacate en Jalisco.

| Rubros | Acción | Descripción detallada de la acción |
|--|--|--|
| <p>CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES</p>  | Reducción en el consumo de combustibles | <p>Cambio de vehículos con motor de combustión híbrida.</p> |
| <p>CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA</p>  | Transición energética | <ol style="list-style-type: none"> 1. Uso de energía alternativa, por ejemplo, paneles solares fotovoltaicos. 2. Cambio de lámparas LED para la mejora del alumbrado en la unidad de producción agrícola en las instalaciones. 3. Instalación de sensores de movimiento. 4. Activación del sistema de riego durante la noche para el uso eficiente de agua y energía. 5. Aprovechar la pendiente del terreno para disminución de la energía eléctrica por el bombeo de agua. 6. Sistema de captación de agua de lluvia, para reducir el consumo de energía eléctrica por bombeo para extracción de agua. |
| <p>FERTILIZANTES</p>  | Uso de alternativas de fertilizantes orgánicos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Implementación de biofertilizantes, como por ejemplo composta, lixiviados de composta, biochar, hidrogeles. 2. Planificación de fertilización específica para los requerimientos de nutrientes acorde a la fenología y análisis de suelo. |

MANEJO DE RESIDUOS



Transformación de residuos

1. Transformación de los residuos de restos alimenticios y poda en biochar.

2. Valorización de los residuos de cartón.

EMPAQUE



Utilizar material de reciclado para el empaque del producto

Dar preferencia y aumentar el porcentaje de uso de material reciclado como cartón, plástico y papel para el empaque del producto.

CAPACITACIÓN



Implementar cursos de capacitación en reducción de huella de carbono

Cursos y talleres de capacitación en reducción de huella de carbono a través de la formación en temas de uso eficiente de fertilizantes, optimización de recursos, uso eficiente del agua, energías alternativas, control biológico, entre otros.

REFORESTACIÓN



Implementar zonas de reforestación

Implementar zonas de amortiguamiento dentro y fuera de las zonas de producción con especies nativas de la región.

Como consecuencia de los manejos erróneos de la producción agrícola y el desarrollo de las ciudades, el mundo pierde millones de hectáreas fértiles anualmente; tan solo en México 89 millones de hectáreas del país presentan algún grado de degradación, de las cuáles el 7.4% son ocurridas por deforestación (SEMARNAT, 2012). La paradoja es que, al tiempo que se pierde terreno, la necesidad de alimento se exagera.

Dichas pérdidas, aunadas a la quema de combustibles fósiles y las prácticas agronómicas indiscriminadas han generado una creciente acumulación de CO₂ y otros gases

de efecto invernadero en la atmósfera ocasionando un incremento en la temperatura media del planeta y generado un cambio climático.

La lógica del pensamiento capitalista para el crecimiento económico se basa en la obtención del beneficio a costa de las afectaciones al ambiente, por lo tanto, este tipo de políticas empresariales pueden aumentar las ganancias a corto plazo, pero aumentan el riesgo de agotar los recursos naturales a largo plazo (Goeminne & Paredis, 2010).

En términos globales, la mayoría de los recursos del planeta son consumidos por los habitantes de las sociedades más ricas que producen la mayor parte de la contaminación por medio de la explotación de la tierra y a costa de los trabajadores de los países menos desarrollados (Hermansen, 2017). Un aspecto importante de las desigualdades es la preocupación por el aumento del racismo ambiental, o la tendencia a que los problemas ambientales sean más importantes en las zonas próximas a las personas más desfavorecidas, especialmente, las minorías, por lo cual, las teorías del conflicto social proponen una distribución más equitativa de los recursos entre todos los habitantes del mundo como estrategia para conservar el medio ambiente esto es de vital importancia para Jalisco debido a su papel que juega como proveedor de alimentos para México y para el mundo el manejo de los recursos naturales toma relevancia gracias a las políticas que se están promoviendo a nivel internacional, pero no debemos quedar solo en acuerdos sino tomar acciones que mejoren el territorio local en cuestiones ambientales, económicas y sociales.

8. CONCLUSIONES

- La estimación de la huella de carbono en Zapotlán el Grande Jalisco en la unidad de producción de aguacate (*Persea americana* Var. Hass) fue de 12.39 Kg CO₂eq por cada kilogramo de aguacate.
- Los valores de fijación neta de CO₂ de los arboles fue en promedio de 8.58 μmol m⁻² s⁻¹ teniendo un valor mínimo de 4.75 μmol m⁻² s⁻¹ y un valor máximo de 12.42 μmol m⁻² s⁻¹.
- La integración de los parámetros de fijación de CO₂ (fotosíntesis) y emisión de CO₂ (HdC con metodología ISO 14,064) en el sistema de producción de aguacate fue de 5.47 Kg CO₂eq por cada kilogramo de aguacate.
- La hoja de cálculo generada en este estudio para estimación de HdC permite a los productores tener una aproximación de las emisiones de GEI que genera su sistema productivo y tomar medidas que permitan la mitigación de la HdC y eficiencia del sistema productivo.
- En el cultivo de aguacate el factor con mayor emisión de CO₂ fue el consumo de energía eléctrica que se relaciona directamente con el riego, por lo que las estrategias de mitigación se deben enfocar en tecnologías y manejo encaminadas a disminuir dicho impacto
- La determinación de la huella de carbono en el sistema de producción permitió identificar que el consumo de energía eléctrica es la fuente de emisión más grande de

GEI relacionado con la aplicación de fertilizantes a los árboles con un consumo anual de 4,615,260 kg CO₂eq. equivalente al 97.45% de la HdC del sistema productivo.

- La innovación en la integración de estas metodologías fijación de CO₂ (fotosíntesis) y emisión de CO₂ (HdC con metodología ISO 14,064) permite por un lado medir la HdC de forma integral, y ser replicado en otros sistemas de producción de alimentos, ya que no única mente contempla cuestiones de producción, sino también, socioeconómicas disminuyendo el impacto al territorio.

9. REFERENCIAS

- Alvarez, S., Blanquer, M. & Rubio, A., 2014. Carbon footprint using the Compound Method based on Financial Accounts. the case of the School of Forestry Engineering, Technical University of Madrid. *Journal of Cleaner Production*, 66, pp.224–232. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.050>.
- Álvarez, S., Rubio, A., & Rodríguez, A. (2015). *Conceptos básicos de la huella de carbono* (Vol. 1). Madrid, España: AEONOR.
- Betz, V. M. (1999). Cotton, maize and chocolate. Plant cultivation in Mesoamerica. *Anthena Rev*, 2, 24-31.
- Bifani, P., 1999. *Medio ambiente y desarrollo sostenible*, Madrid: IEPALA.
- Blanco, J. A. (2017). (H. d. Argentina, Productor) Obtenido de CAF: <https://www.caf.com/es/conocimiento/blog/blog/2017/huella-de-carbono-en-el-sector-del-maiz-en-argentina/?parent=32983>
- Bongiovanni, R., Tuninetti, L., & Garrido, G. (2016). Huella de Carbono de la cadena de maní de Argentina.
- Bormann, F. H., & Kellert, R. S. (1991). The global environmental deficit. En F. H. Bormann, *Ecology, Economics and Ethics: The Broken Circle* (págs. ix-xviii). New Haven, CT: Yale University Press.
- Bost, J., Smith, N., & Crane, J. (2013). *The Avocado: botany, production and uses*. . Honolulu, USA: University of Florida.
- Browne, D., O'Regan, B. & Moles, R., 2009. Use of carbon footprinting to explore alternative household waste policy scenarios in an Irish city-region.

Resources, Conservation and Recycling, 54(2), pp.113–122.

CEPAL. (2010). La huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. En H. Schneider, & S. J., *La huella de carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. (pág. 46). Santiago, Chile.

Comision Federal de Electricidad, 2016. CFE Reporte Anual 2016. , p.396.

COP 21. (2015). *Sustainable innovation forum 2015*. Obtenido de <http://www.cop21paris.org/>

Cuatecontzi, D. y col. (2004). Opciones para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte. En Cambio Climático: Una visión desde México. SEMARNAT-INECOL, pp. 391

Curiel Ballesteros, A. (2015). *El clima cambiante, conocimientos para la adaptación en Jalisco*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.

FAO. (2011). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. Alcance, causas y prevención*. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura.

FAO. (2017). *The State of Food Security and Nutrition in the World*. ONU, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Galindo-Tovar, M., & Arzate-Fernández, N. O.-A. (2008). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.) diversity and domestication in Mesoamerica. *Genet Resour Crop Evol*, 55.

Galli, A. et al., 2012. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators*, 16, pp.100–112. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.017>.

- GALLUP. (2009). Obtenido de <http://news.gallup.com/poll/124652/awareness-climate-change-threat-vary-region.aspx>
- García de Alba, J. (2018). *Action plan: Carbon Footprint Assessment for the desing of susteintainable strategies in production of avocado* . Denmark.
- Goeminne, G., & Paredis, E. (2010). The concept of ecological debt: Some steps towards an enriched sustainability paradigm. *Environment, Development and Sustainability, 12*(5), 691-712.
- Guerra, L. A. (2007). *Construcción de la huella de carbono y logro de carbono nuetralidad para el Centro Agronoómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CAITE)*". Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Invesgación y Enseñanza (CAITE).
- Hermansen, M. (2017). The global income distribution for high-income countries. . *Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)*.
- Hernan, J., & Campo, O. (2004). Huella de carbono del sistema de produccion de arroz (oryza sativa) en el municipio de campoalegre, Hiula Colombia. *Corpoica CIenc. Tecnol Agropecu.*
- Hernan, J., Milena, A., & J., V. (2014). Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia . *UNAD*.
- Herrera-Castro, N., Pompa, A. G., Cruz-Kuri, L., & Flores, J. (1993). Los huertos familiares mayas en X-uilub, Yucatán, México. Aspectos generales y estudio comparativo entre la flora de los huertos familiares y la selva. *Biótica, 1*, 19-36.
- IndexBox. (2018). *World- Avocados- Market. Analysis, Forecast, Size, Trends and Insights*. UK: IndexBox Marketing.
- IPCC. (2001). *GTH Cambio climático 2001: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*.

- IPCC (2007). Climate Change 2007 Synthesis Report,
- IPCC (2008) IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change National Greenhouse Gas Inventories Programme, p.20.
- ISO (2006). ISO 14064 Sistemas de Gestión de Gases Efecto Invernadero.
- Kleiner, K., 2007. The corporate race to cut carbon. *Nature Reports Climate Change*, 3(0708), pp.40–43. Available at: <http://www.nature.com/doi/10.1038/climate.2007.31>.
- MAPAMA, (2014) Guía para el cálculo de la Huella de Carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización. Ministerio de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. España. Recuperado el 10 de mayo de 2018 de: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-178893.pdf
- Matthews, H.S., Hendrickson, C.T. & Weber, C.L., 2008. The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. *Environmental Science and Technology*, 42(16), pp.5839–5842.
- OEIDRUS. (2015). *Anuarios Estadísticos*. Recuperado el 2017, de oeidrusweb@jal.sagarpa.gob.mx
- Olmos, X. (2012). La huella de carbono en el comercio internacional: el caso de las viñas chilenas .
- OMM. (1979). Primera Conferencia Mundial sobre el Clima. Ginebra.
- ONU. (2007). *La ONU y la sostenibilidad*. Obtenido de Naciones Unidas: <http://www.un.org/es/sections/general/un-and-sustainability/index.html>
- Palacios, R. A. (2012). Huella de Carbono: más allá de un instrumento de medición. Necesidad de conocer su impacto verdadero . *Actas – IV Congreso*

Internacional Latina de Comunicación Social – IV CILCS – Universidad de La Laguna, diciembre 2012 .

- Pandey, D., Agrawal, M. & Pandey, J.S., 2011. Carbon footprint: Current methods of estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1–4), pp.135–160.
- Peters, G.P., 2010. Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(4), pp.245–250. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.004>.
- Robertson, R. (1997). Comments on the "Global Triad" and "Glocalization". *Institute for Japanese Culture and Classics, Kokugakuin University*. INOUE Nobutaka. Obtenido de <http://www2.kokugakuin.ac.jp/ijcc/wp/global/15robertson.html>
- Romero-Gómez, M. L.-R. (2015). Huella de Carbono en Tomate Cherry .
- Romero-Gómez, M., & Suárez-Rey, E. (2014). Huella de carbono en cultivos hortícolas de hoja. *IFAPA*.
- SDA. (2015). *Guía para el cálculo y reporte de huella de carbono corporativa*. Secretaría Distrital de Ambiente , Sub Dirección de políticas y Planes Ambientales 2015, Bogotá.
- Segura, M., & Andrade, H. (2012). Huellas de carbono en cadenas productivas de café (Coffea arabica L) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. *Luna Azul*.
- SEMARNAT. (2012). *Degradación del suelo en la República Mexicana - Escala 1:250 000*. SEMARNAT, Dirección de Geomática .
- SEMARNAT. (26 de noviembre de 2015). www.gob.mx. Recuperado el 22 de diciembre de 2016, de www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-en-la-cop-21-listo-y-decidiendo-a-enfrentar-el-cambio-climatico
- Shiva, V. (2018). *¿Quién alimenta realmente al mundo?*

- Smith, B. (2005). Reassessing Coaxcatlan Cave and the early history of domesticates plants in Mesoamerica. *PNAS*, *102*, 9438-9445.
- Suárez-Rey, M. R.-G. (2014). Huella de carbono en cultivos hortícolas de hoja .
- The British Standards Institution, 2011. PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION PAS 2050: 2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. *System*, pp.1–45.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, *418*, 671-677.
- Umaña, J. (2012). Huella de carbono de los sistemas de producción agrícolas dominantes en el municipio de Falaan , Tolima.
- Van Wyk, B. (2005). *Food Plants of the World*. Portland, Oregon: Timberland Press.
- VanDerwarker, A. (2006). *Farming, Hunting, and Fishing in the Olmec World*. Austin, Texas: University of Texas Press.
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1966). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. Philadelphia: New Society Publishers.
- WBCSD and WRI, 2005. The GHG Protocol for Project Accounting. , p.148.
- Wiedmann, T. & Minx, J., 2007. A Definition of ‘ Carbon Footprint. *Science*, *1(01)*, pp.1–11. Available at: http://www.censa.org.uk/docs/ISA-UK_Report_07-01_carbon_footprint.pdf.
- Zhao, L., Zeng, W. & Yuan, Z., 2015. Reduction of potential greenhouse gas emissions of room air-conditioner refrigerants: A life cycle carbon footprint analysis. *Journal of Cleaner Production*, *100*, pp.262–268. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.063>.

10. ANEXOS

Encuesta Huella de carbono

ENCUESTA DIRIGIDA A PRODUCTORES DE AGUACATE PARA INTEGRAR DATOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

Datos de la encuesta

| | |
|----------------------------------|--|
| Datos del encuestador | |
| Fecha | |
| Localidad (Unidad de producción) | |

FOLIO

Datos generales

| | |
|--|--|
| PERSONA ENTREVISTADA | |
| FUNCION DENTRO DE LA HUERTA (dueño, encargado, trabajador) | |
| AÑOS TRABAJANDO EN LA HUERTA | |
| EDAD DE ENTREVISTADO | |
| SEXO | |
| ESCOLARIDAD | |
| OBSERVACIONES | |

Datos de la Unidad de Producción

| | |
|---|--|
| UNIDAD DE PRODUCCIÓN BAJO SISTEMA TRADICIONAL O CERTIFICADO | |
| CERTIFICACIONES QUE TIENE, Y QUÉ LO MOTIVÓ A TENER ESAS CERTIFICACIONES | |
| LOCALIDAD | |
| COORDENADAS | |

| | |
|--|--------------------------------|
| ÁREA DE LA HUERTA | |
| NO. DE ÁRBOLES | |
| EDAD DE LOS ÁRBOLES | |
| PRODUCCIÓN ANUAL | |
| DESARROLLO ALGÚN OTRO PRODUCTO AGRÍCOLA O GANADERO DENTRO DE EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE AGUACATER? | |
| ¿CUAL (ES)? | |
| FENOLOGÍA: FLOR | E F MZ AB MY JN JL AGO S O N D |
| FENOLOGÍA: DESARROLLO DE FRUTO | E F MZ AB MY JN JL AGO S O N D |
| FENOLOGÍA: COSECHA DE FRUTO | E F MZ AB MY JN JL AGO S O N D |
| OBSERVACIONES | |

Datos de riego

| | | |
|----------------------------------|----|----|
| ¿APLICA RIEGO? | SI | NO |
| MÉTODO(S) DE APLICACIÓN DE RIEGO | | |
| ¿CUENTA CON MANGUERA/CINTILLA? | | |
| ¿CUÁNTOS METROS TIENE? | | |
| HORA EN QUE APLICA EL RIEGO | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|----|----|----|-----|---|---|---|---|--|
| ¿CONOCE LA CANTIDAD DE AGUA APLICADA AL DÍA? | | | | | | | | | | | | |
| ¿DE DÓNDE PROVIENE EL AGUA DE RIEGO? | | | | | | | | | | | | |
| ¿APLICA RIEGO Y FERTILIZANTE DE FORMA SIMULTÁNEA? ¿DE QUE MANERA? | | | | | | | | | | | | |
| MESES DEL AÑO QUE SE APLICA RIEGO | | | | | | | | | | | | |
| E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D | |

Datos de fertilización y agroquímicos

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----|----|----|----|----|-----|---|---|---|---|--|
| FERTILIZANTES QUE APLICA NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | | | | | | | | | | | | |
| ÉPOCA DEL AÑO EN QUE APLICA ESTOS FERTILIZANTES | | | | | | | | | | | | |
| FERTILIZANTES EN SUELO NITROGENADOS QUE APLICA NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | | | | | | | | | | | | |
| FERTILIZANTES FOLIARES NITROGENADOS QUE APLICA NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | | | | | | | | | | | | |
| E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D | |
| E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D | |
| E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|----|----|----|----|-----|---|---|---|---|
| FUNGICIDAS QUE APLICA NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|----|----|----|----|----|-----|---|---|---|---|
| HERBICIDAS QUE APLICA NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| | | | | | | | | | | | | |
| OTROS AGROQUÍMICOS QUE APLICA NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| | | | | | | | | | | | | |
| MICROELEMENTOS QUE APLICA (ejemplo: cobre, zinc, manganeso y boro) NOMBRE(S) Y DOSIS POR HA | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| | | | | | | | | | | | | |
| LABORES DE ACLAREO | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----|----|----|----|----|-----|----|-----|---|---|---|---|
| PREPARACIÓN DE LA TIERRA | <table border="1"> <tr><td>E</td><td>F</td><td>MZ</td><td>AB</td><td>MY</td><td>JN</td><td>JL</td><td>AGO</td><td>S</td><td>O</td><td>N</td><td>D</td></tr> </table> | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D | | |
| PODA | <table border="1"> <tr><td>E</td><td>F</td><td>MZ</td><td>AB</td><td>MY</td><td>JN</td><td>JL</td><td>AGO</td><td>S</td><td>O</td><td>N</td><td>D</td></tr> </table> | E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D |
| E | F | MZ | AB | MY | JN | JL | AGO | S | O | N | D | | |
| PLAGAS QUE TIENE Y ÉPOCA DEL AÑO EN QUE SE PRESENTAN | | | | | | | | | | | | | |
| FORMA DE ATACAR LAS PLAGAS (HOJA, FRUTO RAÍZ, TALLO, FLOR) | | | | | | | | | | | | | |

Datos de uso de vehículos para la producción

| | |
|---|--|
| Se emplean vehículos para: (ejemplo preparación de la tierra, transporte de producto a empacadora, etc) especificar el combustible que se emplea | |
| Cuánta gasolina se consume al mes | |
| Cuánto diésel se consume al mes | |
| Cuánto gas se consume al mes | |

Datos de empaque

| | |
|--|--|
| ¿Dónde se ubica la empacadora? Distancia recorrida a la empacadora | |
| Tipo de empaque empleado | |
| Considera importante que su producto tenga empaque reciclable | |
| Crees que el empaque tenga relación con la salud, ¿de qué manera? | |

Datos de uso de energía eléctrica

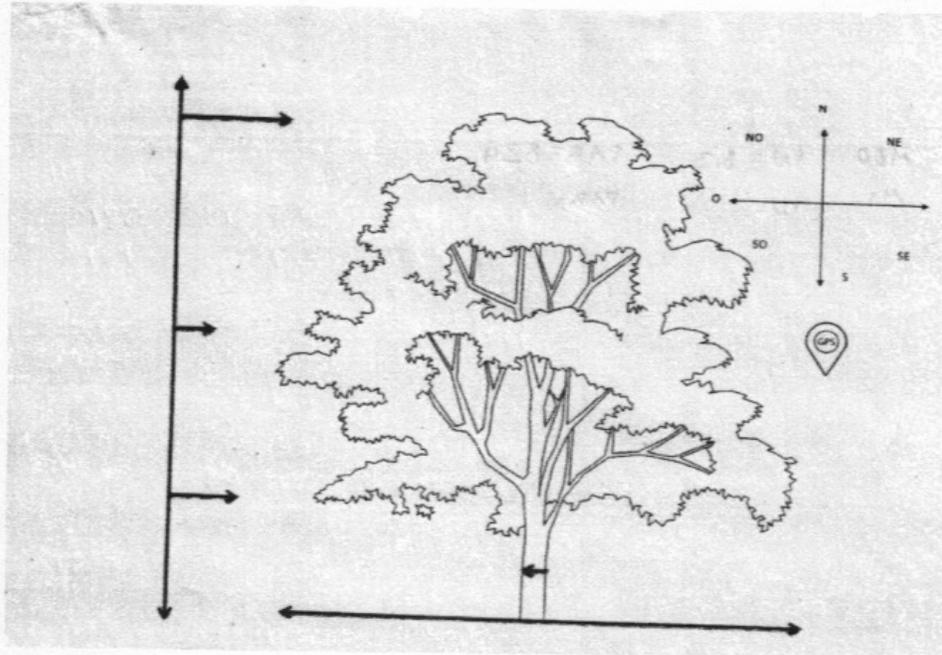
*Recibos de luz

PARA PERCEPCIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO Y EFECTOS A LA SALUD DE PROCESO DE PRODUCCIÓN

| | |
|--|--|
| ¿QUÉ ES EL CALENTAMIENTO GLOBAL? | |
| ¿LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE ES AMIGABLE CON EL AMBIENTE? ¿DE QUÉ MANERA? | |
| SABE LO QUE ES LA HUELLA DE CARBONO, EXPLIQUE POR FAVOR ¿PARA QUÉ SIRVE? | |
| ¿CONSIDERA QUE LA PRODUCCION DE AGUACATE CONTRIBUYE AL AL CALENTAMIENTO GLOBAL? ¿DE QUÉ MANERA? | |

| | |
|--|--|
| ¿CONSIDERA QUE EL CALENTAMIENTO GLOBAL IMPACTA A LA SALUD DE LAS PERSONAS? ¿DE QUÉ MANERA? | |
| ¿EL CONSUMO DE AGUACATE ES SALUDABLE?, EXPLIQUE POR FAVOR | |
| EL AGUACATE SE CULTIVA DE MANERA SALUDABLE PARA LA GENTE? DE QUÉ MANERA | |
| ¿CONSIDERA QUE AL CULTIVAR EL AGUACATE SE PUEDE AFECTAR LA SALUD HUMANA? ¿DE QUÉ MANERA? | |
| CUANDO SE PRODUCE EL AGUACATE ¿CUÁL ES SU PRIORIDAD? EJEMPLO: ECONOMICA | |
| CONSIDERA QUE EL CONSUMIDOR DE AGUACATE QUE BENEFICIOS BUSCA | |
| EL MEDIADOR DE AGUACATE LE EXIGE CUÁLES CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD | |
| ¿EL CONSUMIDOR FINAL DE AGUACATE TOMA EN CUENTA LAS CERTIFICACIONES? | |
| A QUÉ SE DEBE QUE ALGUNAS PERSONAS NO CONSUMAN AGUACATE, TIENE QUE VER CON LA CALIDAD, LA MANERA DE PRODUCIR, LA FORMA DE PRESETARLO | |
| CONSIDERA QUE AL CONSUMIDOR LE IMPORTA LA ENERGÍA EMPLEADA EN LA PRODUCCIÓN DE AGUACATE, EXPLIQUE | |
| CONSIDERA QUE EL CONSUMIDOR BUSCA PRODUCTOS OBTENIDOS DE MANERA SUSTENTABLE, EXPLIQUE | |

Formato para datos de campo



| MUESTRA: | FECHA/D/M/A: | | HORA: | | LUGAR: |
|--------------------|--------------|-------|--------|-------|--------|
| Análisis | Unidad | N | E | S | O |
| Fotosíntesis | | | | | |
| Apical | | | | | |
| Media | | | | | |
| Basal | | | | | |
| Dióxido de carbono | | | | | |
| Temperatura | | | | | |
| Humedad del suelo | | | | | |
| Luz | | Total | Apical | Media | Basal |

OBSERVACIONES: